TP 14227F

ÉVALUATION DE DISPOSITIFS AVANCÉS DE DÉTECTION DE PIÉTONS (DADP) POUR AUTOBUS SCOLAIRES – PHASE 1

Préparé pour le

CENTRE DE DÉVELOPPEMENT DES TRANSPORTS
de
TRANSPORTS CANADA

par

L-P TARDIF & ASSOCIÉS INC.

Mars 2004

TP 14227F

ÉVALUATION DE DISPOSITIFS AVANCÉS DE DÉTECTION DE PIÉTONS (DADP) POUR AUTOBUS SCOLAIRES – PHASE 1

par

LOUIS-PAUL TARDIF

en collaboration avec

JACQUES BERGERON
YVES DUBÉ
HAITHAM OMAR AGHA AL-AREF

L-P TARDIF & ASSOCIÉS INC.

Mars 2004

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs (ou de l'organisme exécutant) et ne réflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports de Transports Canada ou des organismes coparrains.

Le Centre de développement des transports de Transports Canada et les organismes coparrains n'ont pas l'habitude de citer des noms de produits ou de fabricants. S'ils le font ici, c'est simplement pour la bonne compréhension du texte.

Comité consultatif technique – Représentants

Gaétan Bergeron	Société de l'assurance automobile du Québec
Georges Lalonde	Ministère des Transports du Québec (MTQ)
Charles Gauthier	National Association of State Directors of Pupil Transportation Services – États-Unis
John Giannone	Laidlaw Education Services
Pierre Labranche	Commission professionnelle des services de transport du Québec
Robert Monster	Ministry of Transportation of Ontario (MTO)
Jean-Yves Vallée	Les entreprises Michel Corbeil Inc.
David White	Nova Scotia Utility and Review Board Président du Comité ACNOR D-250
Charles Gautier	Transports Canada – Centre de développement des transports
Claude Guérette	Transports Canada – Centre de développement des transports
Paul Lemay	Transports Canada – Centre de développement des transports
Isabelle Marcil	Transports Canada – Centre de développement des transports
Peter Burns	Transports Canada – Direction générale de la sécurité routière
Viliam Glazduri	Transports Canada – Direction générale de la sécurité routière
Jim White	Transports Canada – Direction générale de la sécurité routière

This report is also available in English under the title: "Evaluation of Advanced Pedestrian Detection Devices (APDDs) for School Buses – Phase 1", TP 14227E.

Transports Canada / Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue du destinataire
TP 14227F	5347	

4. Titre et sous-titre	5. Date de la publication
Évaluation de dispositifs avancés de détection de piétons (DADP) pour autobus scolaires – Phase 1	Mars 2004
	6. N° de document de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)	8. N° de dossier - Transports Canada
L-P Tardif, J. Bergeron, Y. Dubé et H. Omar Agha Al-Aref	2450-DP-749

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier - TPSGC
L-P Tardif & Associates Inc. 17 Saginaw CR Nepean, Ontario K2E 6Y7	MTB/2/01552
	11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada T8200-022537/001/MTB

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de publication et période visée
Centre de développement des transports (CDT) 800, boul. René-Lévesque Ouest Bureau 600 Montréal (Québec) H3B 1X9	Final
	14. Agent de projet P. Lemay

15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

16. Resumé

Le présent projet s'intéresse à la problématique liée aux dispositifs de sécurité pour piétons autour d'autobus scolaires. Une phase précédente avait permis la compréhension des risques encourus par les enfants autour d'un autobus scolaire lors de l'embarquement et du débarquement, et l'élaboration d'une grille d'évaluation permettant de déterminer sommairement les avantages des dispositifs avancés de détection de piétons (DADP) autour d'un autobus scolaire.

Ce projet a pour but de revoir et de valider les critères d'évaluation de DADP autour d'autobus scolaires définis lors de la phase précédente, et de développer des procédures d'essais qui pourront être utilisées ultérieurement lorsque des dispositifs spécifiques auront été sélectionnés à des fins d'essais.

Les principaux outils validés et/ou développés lors de ce projet se résument ainsi :

- Un arbre de défaillances permettant d'identifier et de mesurer le risque qu'un enfant se fasse frapper par l'autobus scolaire;
- De grandes catégories de critères regroupant les facteurs de risque de même type et ayant une pondération proportionnelle à leur capacité à prévenir un accident;
- Une grille d'évaluation théorique permettant de quantifier la performance des dispositifs de détection.

Des procédures pour des essais en laboratoire, en circuit fermé et sur route ont aussi été développées. La procédure proposée d'essais en laboratoire souligne la difficulté de définir des essais universels pour tous les types de dispositifs de sécurité. Le rapport contient aussi un guide de l'utilisateur qui a pour but de faciliter l'utilisation de la grille d'évaluation.

17. Mots clés	18. Diffusion
aides à la détection d'enfants, arbre de défaillances, autobus scolaires, dispositifs avancés de détection de piétons, grille d'évaluation, zones dangereuses	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

19. Classification de sécurité (de cette publication)	20. Classification de sécurité (de cette page)	21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	—	x, 35, ann.	Port et manutention -

CDT/TDC 79-005
Rev. 96

Canada

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 14227F	5347	

4. Title and Subtitle	5. Publication Date
Évaluation de dispositifs avancés de détection de piétons (DADP) pour autobus scolaires – Phase 1	March 2004
	6. Performing Organization Document No.

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
L-P Tardif, J. Bergeron, Y. Dubé and H. Omar Agha Al-Aref	2450-DP-749

9. Performing Organization Name and Address	10. PWGSC File No.
L-P Tardif & Associates Inc. 17 Saginaw CR Nepean, Ontario K2E 6Y7	MTB/2/01552
	11. PWGSC or Transport Canada Contract No.
	T8200-022537/001/MTB

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Publication and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 800 René Lévesque Blvd. West Suite 600 Montreal, Quebec H3B 1X9	Final
	14. Project Officer
	P. Lemay

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

16. Abstract

This project focusses on the issue of pedestrian safety devices for school buses. A previous phase provided a better understanding of the risks children are exposed to when getting on or off a school bus, and resulted in the development of an evaluation tool to determine the advantages of advanced pedestrian detection systems (APDS) for school buses.

The purpose of this report is to review and validate the assessment criteria for APDS use around school buses defined in the previous phase, and to develop testing protocols that can be used at a later date when specific devices have been chosen for testing.

The main tools validated and/or developed for this project are:

- a fault tree to identify and quantify the risk that a child will be struck by the school bus;
- broad categories of criteria comprising risk factors of the same type, weighted proportionally to their value in preventing an accident;
- a theoretical evaluation grid to quantify the performance of detection devices.

Laboratory, closed-track and road testing procedures were also developed. The proposed laboratory testing procedure emphasizes the difficulty of devising universal tests for all types of safety devices. The report also contains a user's guide to facilitate use of the evaluation grid.

17. Key Words	18. Distribution Statement
Child detection aids, fault tree, school bus, advanced pedestrian detection systems, evaluation grid, danger zones	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	—	x, 35, apps	Shipping/ Handling

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier tous les membres du Comité consultatif technique qui ont bien voulu l'assister et la guider tout au long de ce projet.

SOMMAIRE

Transports Canada a mis sur pied un projet de recherche en deux phases qui vise à identifier et à évaluer des dispositifs avancés de détection de piétons (DADP) qui pourraient aider le conducteur d'autobus scolaire à détecter la présence d'enfants autour de l'autobus et à les protéger.

La présente phase consiste essentiellement à revoir et à modifier, si nécessaire, les critères d'évaluation qui ont été développés lors d'un projet antérieur, à définir des seuils de performance et à élaborer une procédure d'essai et une méthodologie qui permettraient d'entreprendre des essais.

Des travaux antérieurs avaient permis de comprendre les risques encourus par les enfants autour d'un autobus scolaire lors de l'embarquement et du débarquement, et de développer une grille d'évaluation qui permettait de quantifier sommairement la capacité d'un dispositif de sécurité à détecter et à protéger les enfants à l'extérieur de l'autobus scolaire. Ces travaux menèrent à la publication d'un rapport intitulé *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires*, TP 13221F. Ce rapport contient trois éléments-clés qui permettent une évaluation empirique des dispositifs de détection de piétons :

- Un arbre de défaillances permettant d'identifier et de mesurer le risque qu'un enfant se fasse frapper par l'autobus scolaire;

- De grandes catégories de critères regroupant les facteurs de risque de même type et ayant une pondération proportionnelle à leur capacité à prévenir un accident;

- Une grille d'évaluation théorique permettant de quantifier la performance des dispositifs de détection.

Le contenu de ces trois éléments-clés a été revu afin de valider sa pertinence et de déterminer s'il y avait lieu d'apporter des modifications. Les résultats sont comme suit :

- Arbre de défaillances :
  Peu de modifications ont été apportées à l'arbre de défaillances qui identifie graphiquement la combinaison et la probabilité des évènements indésirables qui peuvent être à l'origine de l'accident dans le lequel un autobus heurte un enfant, aussi appelé l'évènement sommet. Cet arbre est formé de niveaux successifs d'évènements tels que chacun de ceux-ci est généré à partir des évènements du niveau inférieur par l'intermédiaire d'opérateurs (ou portes) logiques. Ces évènements incluent entre autres les erreurs humaines, les bris d'équipement, les défaillances de matériel, les conditions environnementales détériorées, etc. L'arbre de défaillances aide à bien situer les liens de cause à effet qui conduisent vers l'évènement sommet. Le calcul de la probabilité qu'un évènement soit la cause de l'événement au niveau supérieur immediat, et ce pour tous les évènements de l'arbre, est basé sur trois sources de données : l'analyse des statistiques, l'analyse des tâches du conducteur et l'opinion de

conducteurs recueillie lors d'un groupe de discussion. Ces probabilités ont mené à l'établissement de critères accompagnés d'une pondération, selon leur importance et leur relation avec l'évènement sommet.

- Grandes catégories de critères et leur pondération :
  Certaines modifications ont été apportées à l'identification des grandes catégories de critères et à leur pondération. Le rapport précédent regroupait les critères suivants en cinq catégories : sécurité, ergonomie, technique, économie et autres facteurs, et environnement. Les critères «technique» et «sécurité» ont été amalgamés, et le critère «environnement» a été combiné au critère «économie et autres facteurs». Le nombre de catégories est donc passé de cinq à trois. Le changement le plus significatif provient probablement de l'importance que les experts techniques attachent aux critères ergonomiques dans la sélection d'un dispositif de sécurité pour les piétons. La pondération de la catégorie «ergonomie» a d'ailleurs été majorée de 25 p. cent à 40 p. cent. L'impact négatif d'un dispositif de sécurité sur la tâche du conducteur, particulièrement le déclenchement de fausses alarmes, a fait en sorte que la pondération de cette catégorie a été majorée. Les critères «sécurité» et «ergonomie» représentent maintenant 90 p. cent du total de la pondération, le dernier 10 p. cent étant attribué au critère «économie et autres facteurs».

- Grille d'évaluation :
  La grille d'évaluation a subi plusieurs modifications. La catégorie «sécurité» a été révisée pour inclure d'autres critères reliés à la détection des enfants dans les zones dangereuses autour de l'autobus scolaire et au moment d'activation des dispositifs. Une attention particulière est portée aux fausses alarmes et aux nuisances potentielles causées par le dispositif. La pondération du critère «économie» a été modifiée pour refléter plus adéquatement la réalité actuelle des opérateurs et fabricants d'autobus scolaires. Le contenu de la grille d'évaluation a été revu par un groupe d'experts et la fonctionnalité de la grille, qui a été développée à l'origine dans un fichier Excel, a été vérifiée en utilisant un dispositif mécanique de prévention : le bras d'éloignement.

Des procédures pour des essais en laboratoire, en circuit fermé et sur route ont été développées. La procédure proposée d'essais en laboratoire tient compte de la difficulté de définir une procédure universelle d'essais pour tous les types de dispositifs de sécurité. Pour pallier cette difficulté, deux procédures sont suggérées, l'une pour les dispositifs de détection et l'autre pour les dispositifs mécaniques. Le rapport contient aussi des recommandations pour des essais en circuit fermé et sur route. L'approche pour les essais en circuit fermé a été validée lors d'essais de pré-expérimentation avec un dispositif de détection commercialement disponible.

Le rapport contient aussi un guide de l'utilisateur à l'intention de ceux et celles qui voudront mesurer la performance d'un dispositif de sécurité. Le rapport suggère également une stratégie pour une phase subséquente qui porterait sur l'utilisation de la grille d'évaluation et les essais de dispositifs de détection.

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction 1

2. Méthodologie 3

3. Revue des travaux antérieurs 5

4. Validation des outils et guide de l'utilisateur 11
   - 4.1 Arbre de défaillances 11
   - 4.2 Probabilité des évènements indésirables 11
   - 4.3 Critères d'évaluation et leur pondération 12
   - 4.4 Grille d'évaluation 15
   - 4.5 Guide de l'utilisateur des outils d'évaluation 17

5. Stratégie pour la sélection des dispositifs de détection pouvant être soumis à des essais 21

6. Programme d'essais des dispositifs sélectionnés 23
   - 6.1 Caractéristiques générales des essais 23
   - 6.2 Procédure d'évaluation en laboratoire 25
     - 6.2.1 Procédure d'évaluation en laboratoire de dispositifs mécaniques 25
     - 6.2.2 Procédure d'évaluation en laboratoire de dispositifs de détection 26
   - 6.3 Programme d'essais en circuit fermé 27
     - 6.3.1 Essais dans un endroit sans circulation (cour d'école déserte ou stationnement) 27
     - 6.3.2 Essais complémentaires (mauvaises conditions climatiques) 29
   - 6.4 Programme d'essais sur route 30

7. Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation révisée et validation des essais proposés en circuit fermé 31

8. Conclusion 33

Références 35

Annexe A Arbre de défaillances
Annexe B Évènements inclus dans l'arbre de défaillances
Annexe C Probabilité des évènements indésirables
Annexe D Grille d'évaluation
Annexe E Critères de base – évaluation en laboratoire
Annexe F Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation – Dispositif mécanique : le bras d'éloignement

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Catégories de critères d'évaluation et leur pondération – Étude de 1998....8
Tableau 2 Catégories révisées de critères d'évaluation et leur pondération.....12
Tableau 3 Distribution des paramètres d'angle et de distance du piéton par rapport à l'autobus et à la taille du piéton.....28

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Zones dangereuses autour de l'autobus scolaire.....14
Figure 2 Zones non-visibles à l'oeil du conducteur.....23
Figure 3 Zones dangereuses autour de l'autobus scolaire.....24
Figure 4 Quadrillage de mesures pour la couverture des zones dangereuses.....29

1- Introduction

La sécurité du transport des écoliers est depuis longtemps une priorité pour Transports Canada et les intervenants impliqués dans le transport scolaire. Malheureusement, même si le nombre d'accidents impliquant des enfants autour des autobus scolaires est très faible, il n'en demeure pas moins que ces accidents se produisent. En fait, on dénombre annuellement, en moyenne, près de 4 enfants impliqués dans de tels accidents mortels et plus de 60 blessés.

C'est pour cette raison que Transports Canada a mis sur pied un programme de recherche qui vise, entre autres, à examiner des technologies et des procédures qui pourraient réduire et potentiellement éliminer de tels accidents.

Cette étude vise à identifier et à évaluer des dispositifs avancés de détection de piétons (DADP) qui pourraient aider le conducteur d'autobus scolaire à détecter la présence d'enfants autour de l'autobus et à les protéger.

En 1996, Transports Canada a formé un groupe de travail sur la sécurité des autobus scolaires qui a, jusqu'à présent, étudié deux problématiques reliées à l'arrêt des autobus scolaires pour l'embarquement et le débarquement des écoliers. Ces problématiques sont l'efficacité des signaux de pré-signalement d'arrêt (feux jaunes ou rouges clignotants ou feux de détresse) et les dispositifs embarqués de détection et de protection des piétons qui circulent autour des autobus scolaires.

Ce projet est la troisième initiative d'étude de ce groupe de travail qui vise la problématique reliée aux dispositifs de sécurité pour piétons autour d'autobus scolaires. La première de ces initiatives consistait à comprendre les risques encourus par les enfants autour d'un autobus scolaire lors de l'embarquement et du débarquement et à développer une grille d'évaluation permettant de déterminer sommairement les avantages des dispositifs de sécurité. Ce projet mena à la publication du rapport intitulé *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires*, TP 13221F [1].

Une deuxième phase a permis d'identifier, auprès des transporteurs canadiens et américains, les types de dispositifs utilisés dans les autobus scolaires et de bénéficier de leurs expériences et de leurs appréciations face à ces dispositifs. Un rapport sur ce sujet sera publié prochainement.

La grille d'analyse qui a été élaborée lors de la première phase a permis d'identifier de façon empirique des critères d'évaluation et de caractériser ou de pondérer leur importance relative. Ces critères permettent d'évaluer la capacité d'un dispositif à :

1. éliminer ou réduire les risques d'accidents (aspect sécurité);
2. mesurer son impact sur la tâche du conducteur et la qualité de l'interface dispositif/enfant (aspect ergonomique);

3. rencontrer des exigences techniques telles que la performance, la fiabilité, la flexibilité et le respect des normes et des règlements (aspect technique);
4. rencontrer des impératifs économiques, notamment le coût total du dispositif, sa durée de vie utile et son stade de développement (aspect économique);
5. opérer dans différents environnements qui tiennent compte des émissions sonores, de l'impact visuel et des variations climatiques (aspect environnement).

Cette grille et ces critères constituent le point de départ de la présente étude. Une grille révisée et adaptée, jumelée à des exigences en matière de performance, permettra d'évaluer les dispositifs avancés de détection de piétons et d'éliminer ceux qui ne sont ni performants ni avantageux, voire même dangereux et ce, sans avoir à procéder à des tests plus onéreux en laboratoire ou sur le terrain. L'outil sera également utilisé pour l'évaluation plus poussée des dispositifs ayant pu franchir une première étape d'évaluation.

Cette première évaluation permettra d'identifier les dispositifs avancés de détection de piétons les plus prometteurs. Certains d'entres eux seront ensuite soumis à des essais contrôlés, des essais routiers et des essais en laboratoire. Ces essais permettront d'obtenir une appréciation de la capacité d'un dispositif avancé de détection de piétons à réduire le nombre d'accidents où les enfants sont happés mortellement par leur autobus scolaire. Ils fourniront également un outil au législateur sur la pertinence d'exiger ou non l'installation de tels dispositifs.

Le présent rapport a pour but de revoir et de valider les critères de sélection établis par ce premier projet et de développer des procédures d'essais qui seront utilisées lorsque des dispositifs auront été sélectionnés pour des fins d'essais lors d'une phase subséquente.

2- Méthodologie

La méthodologie utilisée fut la suivante :

- Création d'un comité consultatif technique

- Révision et validation du contenu technique du rapport du Groupe Cartier [1], plus spécifiquement :
  - l'arbre de défaillances
  - les facteurs de risque et leur pondération
  - les seuils de performance
  - la grille d'évaluation des dispositifs de détection

- Développement des procédures d'essais
  - en laboratoire
  - en circuit fermé
  - sur route

- Validation des critères d'évaluation, i.e. évaluation d'un mécanisme de détection et évaluation de la procédure pour les essais en circuit fermé

- Production d'un rapport.

3- Revue des travaux antérieurs

Le rapport intitulé *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires,* TP 13221F, est une étude sur le développement de critères d'évaluation de dispositifs de sécurité en transport scolaire. Elle avait pour but de donner aux décideurs en transport scolaire un outil qui leur permettrait d'évaluer la panoplie de dispositifs de sécurité disponibles sur le marché. L'étude aborda également les éléments suivants :

- Description du contexte et de la problématique de la sécurité en transport scolaire au Québec (le Québec servait alors de cadre de référence pour cette étude);
- Revue des technologies et dispositifs présentement utilisés ou pouvant être appliqués dans le domaine du transport scolaire;
- Étude ergonomique de la tâche du conducteur d'autobus scolaire;
- Analyse des risques d'accidents reliés aux opérations d'arrêt et de départ et d'embarquement et de débarquement;
- Suite à ces analyses, identification, définition, catégorisation et pondération des critères impliqués dans l'analyse des dispositifs;
- Formulation de recommandations pour la phase subséquente.

Au niveau de la problématique, le rapport du Groupe Cartier se penche principalement sur la capacité du dispositif à détecter des enfants lors des phases d'embarquement et de débarquement.

Selon ce rapport *«L'identification et l'analyse des exigences qu'implique la tâche de conducteur d'autobus de même que des types, circonstances et liens de causalité des accidents/incidents associés aux opérations d'arrêt, de départ et d'embarquement et de débarquement des écoliers permettront d'obtenir une image globale des différents éléments influençant la sécurité en transport scolaire et ainsi de statuer sur les critères essentiels devant faire partie d'une évaluation des dispositifs.»*[1]

L'analyse de la tâche du conducteur contenue dans cette étude considère plusieurs éléments ayant des interactions entre eux. Cette analyse a été effectuée suite à une revue de la littérature et à des séances d'observation sur le terrain. Elle a permis de confirmer que des critères d'évaluation devaient tenir compte de la capacité d'un dispositif à s'adapter aux différences anthropométriques, physiques, sensorielles et mentales des conducteurs et en tenant compte de facteurs tels que la force musculaire, le pouvoir de détection visuelle, la capacité de discrimination des sons et la capacité d'apprentissage.

L'étude de la tâche du conducteur a permis de démontrer que des variables externes, telles les caractéristiques des écoliers, le nombre d'écoliers, le type de route, les caractéristiques des arrêts, etc., avaient un impact important sur la sécurité. Elle a aussi permis d'identifier et de regrouper, par activité, l'ensemble des variables pouvant influencer les exigences physiques, sensorielles ou mentales du conducteur.

Pour comprendre les risques encourus par les enfants, deux sources principales de données ont été utilisées, soit les statistiques et dossiers d'accidents et l'observation de la tâche du conducteur. Ces données ont permis de faire ressortir les principaux facteurs de risque reliés au transport scolaire. Cette information mena à l'élaboration d'un arbre de défaillances qui présente l'ensemble des évènements indésirables qui peuvent conduire à un accident, de même que la probabilité d'occurrence de chacun de ces évènements indésirables.

Cette méthode est utilisée pour déterminer les diverses combinaisons possibles d'évènements ou de causes qui entraînent la réalisation d'un évènement indésirable. Elle permet de représenter graphiquement ces combinaisons d'évènements au moyen d'une structure arborescente. L'illustration de l'arbre de défaillances est présentée à l'annexe A.

Cet arbre de défaillances est basé sur une recherche approfondie de toutes les causes possibles et immédiates d'évènements indésirables. Cette recherche a été réalisée à partir de trois sources d'information : les statistiques d'accidents, l'observation sur le terrain et la consultation auprès d'un groupe de discussion formé de conducteurs d'autobus scolaires.

Ces causes ont ensuite été regroupées en utilisant des liens logiques qui décrivent la relation entre les différents évènements. L'évènement indésirable se retrouve au sommet de l'arbre et correspond à l'évènement que l'on veut éviter. Donc, pour chaque cause ou évènement, un pourcentage a été identifié représentant la probabilité que cet évènement soit responsable de l'occurrence de l'évènement du niveau supérieur immédiat et menant à l'évènement sommet.

L'arbre a été construit en utilisant les deux principaux opérateurs du symbolisme logique de Boole : le «ET» et le «OU». Le «ET» signifie que les évènements doivent se réaliser simultanément pour que l'évènement de niveau supérieur se réalise, alors que le symbole «OU» est utilisé lorsqu'un seul des évènements est nécessaire pour que l'évènement de niveau supérieur se réalise.

Comme on peut le constater, l'étude du Groupe Cartier a permis d'illustrer l'ensemble des causes possibles d'accidents où l'autobus scolaire peut entrer en collision avec un enfant et résulter en la réalisation de l'évènement sommet «Enfant est heurté par l'autobus».

Selon l'arbre de défaillances, deux conditions sont nécessaires pour qu'un autobus scolaire heurte un enfant. Il faut que l'enfant soit dans la trajectoire de l'autobus ou que l'autobus se déplace. Si l'une de ces deux conditions est absente, il ne peut y avoir d'accidents.

Utilisant l'arbre de défaillances pour faire le lien entre les évènements, ainsi que les statistiques d'accidents et les consultations et observations auprès des conducteurs, le rapport du Groupe Cartier fait ensuite la synthèse de la probabilité d'occurrence des évènements pouvant conduire à l'accident où l'autobus scolaire heurte un enfant. Cette

information permettra de statuer sur l'importance relative des évènements indésirables et des facteurs de risque aidant ainsi à définir et à pondérer les critères se rapportant à la capacité du dispositif à les éliminer.

Les critères retenus suite à cette analyse furent de cinq (5) types :

- Sécurité : élimination du risque;
- Ergonomie : impact sur la tâche du conducteur et interface avec l'enfant;
- Économie : investissement à consentir;
- Technologie : performance, fiabilité et flexibilité du système;
- Environnement : intégration du système à l'environnement physique.

L'aspect «sécurité» a été qualifié de plus important car, selon l'étude, il représente la raison même de l'existence des dispositifs de sécurité dans le secteur du transport scolaire. Les critères reliés à l'aspect sécurité sont directement inspirés des évènements indésirables constituant l'arbre de défaillances.

Deux principaux objectifs étaient visés sous ce critère :

- Déterminer la façon ou le moyen offert par le dispositif pour diminuer le risque qu'un autobus heurte un enfant;
- Délimiter le champ d'action du dispositif (zones couvertes) et son temps de protection ou de détection.

L'aspect «ergonomie» porte sur l'impact du dispositif sur le conducteur et les enfants. Les critères de nature ergonomique proviennent surtout des connaissances acquises lors de l'analyse des tâches réalisée dans le cadre du projet du Groupe Cartier. Spécifiquement, l'aspect «ergonomie» inclut :

- l'impact sur la tâche du conducteur;
- la qualité de l'interface dispositif/enfants.

L'aspect «économie» est quant à lui basé sur :

- le coût total du dispositif;
- la durée de vie utile;
- le stade de développement.

L'aspect «technologie» touche surtout la performance, la fiabilité et l'efficacité des dispositifs de sécurité. Les résultats sont basés sur des études antérieures touchant les dispositifs d'autobus scolaires.

L'aspect «environnement» visait la pollution sonore ou visuelle. L'installation d'un dispositif ne devait pas produire de nuisances sonores ou visuelles.

Par la suite, l'étude donna des poids relatifs à chacune des catégories de critères. Le tableau 1 montre les pondérations.

Tableau 1. Catégories de critères d'évaluation et leur pondération – Étude de 1998

CATÉGORIES DE CRITÈRES	Pondération
SÉCURITÉ	**50 %**
Moyen (un ou l'autre)	
• Prévention de la présence d'un enfant	100
• Détection de la présence d'un enfant	95
• Aide au conducteur pour voir l'enfant	70
• Aide au conducteur pour percevoir les signaux	20
Champ d'action	/100
• Localisation des régions couvertes	%
• Proportion des régions couvertes	%
• Moment d'action	%
ERGONOMIE	**25 %**
• Impact sur la tâche du conducteur	70
• Qualité de l'interface dispositif/enfants	30
TECHNOLOGIE	**15 %**
• Respect des normes et règlements	«Go/no go»
• Performance du dispositif	60
• Fiabilité du dispositif	30
• Flexibilité du dispositif	10
ÉCONOMIE	**8 %**
• Coût total du dispositif	40
• Durée de vie utile du dispositif	40
• Stade de développement	20
ENVIRONNEMENT	**2 %**
• Émissions sonores	70
• Impact visuel	30

Source : Groupe Cartier, en collaboration avec les consultants Génicom, *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires*, TP 13221F, 1998.

Les pondérations suggérées faisaient en sorte que les critères «sécurité» et «ergonomie» représentaient 75 % de la pondération. Ce poids relatif avait été retenu vu l'importance de ces deux catégories. Dans le cas de la sécurité, l'importance est accordée à la capacité du dispositif à aider le conducteur à détecter la présence d'enfants quel que soit l'endroit où ils se trouvent autour du véhicule et à l'avertir de manière claire. Dans la catégorie «ergonomie», il ne fallait pas que le dispositif ajoute des tâches additionnelles au conducteur, qu'il soit sécuritaire et qu'il ne conduise pas l'enfant à adopter des comportements à risque.

Comme les pondérations spécifiées dans le rapport étaient dans une large mesure arbitraires et, tel que souligné dans l'étude du Groupe Cartier, ces pondérations se devaient d'être révisées et validées.

L'un des objectifs du présent projet est précisément de revoir et de valider la démarche et les résultats de ce projet conclu en 1998, dans le but de fournir à Transports Canada un outil de décision qui permettra de sélectionner un ou des dispositifs de sécurité pour des essais ultérieurs.

4- Validation des outils et guide de l'utilisateur

Tel que souligné dans le chapitre 2, les outils énumérés devaient faire l'objet d'une validation. Le premier outil qui a été revu est l'arbre de défaillances.

4.1 Arbre de défaillances

L'arbre de défaillances original se retrouve à l'annexe A. De plus, tous les évènements qui constituent l'arbre sont énumérés à l'annexe B. Cette dernière permet une lecture plus facile des évènements mentionnés dans l'arbre.

Un examen des évènements par les auteurs et par le Comité consultatif technique a permis de constater que l'arbre de défaillances est un outil des plus complets et que seul deux ajouts mineurs pouvaient à ce stade-ci l'améliorer. Ces ajouts ne sont pas de nouveaux évènements mais plutôt des précisions relatives au contenu de deux de ceux-ci. Les modifications sont marquées en caractère gras et vont comme suit :

20 : Enfant veut rejoindre quelqu'un ou quelque chose, ***s'immobilise brusquement pour ramasser quelque chose ou revient sur ses pas pour ramasser quelque chose***

Il est possible parfois que l'enfant revienne sur ses pas, soit pour chercher quelque chose qu'il aurait oublié à bord de l'autobus ou, tout simplement pour ramasser quelque chose qui serait tombé au sol. Ces cas peuvent amener le conducteur à perdre de vue l'enfant pour une fraction de seconde ou tout simplement lui faire croire que l'enfant poursuit son chemin sans penser qu'il est revenu brusquement sur ses pas.

62 : Miroirs reflètent une image distordue ***ou sont mal ajustés***

Un miroir mal ajusté peut augmenter le risque d'accident en diminuant le champ de vision du conducteur dans les zones dangereuses autour de l'autobus scolaire.

Ces points ont été ajoutés à l'arbre de défaillances de l'annexe A, et sont inclus dans la description des évènements de l'arbre de l'annexe B.

4.2 Probabilité des évènements indésirables

Le rapport de 1998 établissait aussi en pourcentage la probabilité d'occurrence des évènements pouvant conduire à l'accident où l'autobus scolaire heurte l'enfant. Cette probabilité avait été établie à partir des statistiques d'accidents, de l'observation sur le terrain et de la consultation auprès d'un groupe de discussion incluant des conducteurs (échantillon de quatorze conducteurs). La probabilité relative qu'un évènement relié par une porte logique «et» ou «ou» soit la cause de l'évènement du niveau supérieur immédiat a aussi été évaluée. Cette procédure fut appliquée pour tous les évènements de l'arbre de défaillances afin d'en arriver à un pourcentage représentant le rôle de chaque évènement dans l'arbre et menant à l'évènement ultime : enfant frappé par l'autobus.

Le tableau des probabilités des évènements indésirables est reproduit à l'annexe C. Ce tableau montre la perception des risques selon les conducteurs, le pourcentage tel que calculé d'après les statistiques d'accidents impliquant des autobus scolaires, la synthèse de ces deux analyses et le pourcentage du rôle de chacun des évènements conduisant à l'évènement sommet. L'évènement sommet de l'arbre étant un enfant qui se fait frapper par l'autobus.

Aucun changement n'a été apporté à ces probabilités. Après analyse par les auteurs et le Comité consultatif technique, ces probabilités semblaient être représentatives du rôle de chaque évènement dans un scénario d'accident.

4.3 Critères d'évaluation et leur pondération

Tel que discuté lors de la revue des travaux antérieurs (chapitre 3), le rapport du Groupe Cartier suggérait cinq catégories de critères d'évaluation avec une pondération pour chacune de ces catégories et pour chacun de ces critères. Suite à une révision de ces critères, il est suggéré de modifier les catégories de critères et la pondération de la façon indiquée au tableau 2.

Tableau 2. Catégories révisées de critères d'évaluation et leur pondération

CATÉGORIES DE CRITÈRES	Pondération
SÉCURITÉ	**50 %**
Type d'action (un ou l'autre)	
• Prévention de la présence d'un enfant	100
• Détection de la présence d'un enfant	95
• Aide au conducteur pour voir l'enfant	70
Champ d'action	/100
• À l'avant	72
• Sur les côtés	24
• À l'arrière	4
Temps de protection ou de détection du dispositif	/100
• Début de protection ou de détection	60
• Fin de protection ou de détection	40

CATÉGORIES DE CRITÈRES	Pondération
ERGONOMIE	**40 %**
• Impact sur la tâche du conducteur	50
• Qualité de l'interface dispositif/enfants	40
• Autres aspects ergonomiques	10
ÉCONOMIE ET AUTRES FACTEURS	**10 %**
• Coût total du dispositif	40
• Cycle de fiabilité	40
• Garantie	20
• Autres facteurs	10

Lorsque cette approche est comparée à celle du Groupe Cartier, on note que la catégorie «sécurité» conserve une pondération de 50 % alors que la catégorie «ergonomie» voit sa pondération augmentée à 40 %. Elle était de 25 % auparavant. Pour ce qui a trait à la catégorie «économie et autres facteurs» la pondération est de 10 %. Cette dernière catégorie regroupe en fait les catégories «économie» et «environnement» que l'on retrouvait séparément dans l'ancienne grille d'évaluation. Il faut aussi noter que plusieurs éléments à l'intérieur de chaque catégorie ont été changés. La nature de ces changements se traduit comme suit :

La grille d'évaluation modifiée comporte trois grandes catégories de critères :

- **Sécurité**
- **Ergonomie**
- **Économie et autres facteurs**

Critère «sécurité»

Il est recommandé de conserver une pondération de 50 % pour cette catégorie, supportant ainsi la thèse du rapport du Groupe Cartier qui spécifiait que les critères touchant la sécurité étaient l'aspect le plus important pour l'amélioration de la sécurité des piétons autour de l'autobus scolaire.

Il est suggéré aussi que les éléments techniques, auparavant regroupés sous leur propre catégorie, soient maintenant regroupés sous la catégorie «sécurité», car plusieurs de ces éléments peuvent être mesurés et reliés directement à l'activation des dispositifs de sécurité. Ces critères techniques peuvent être évalués en fonction de la façon ou du moyen que le dispositif dispose pour diminuer le risque qu'un autobus heurte l'enfant. Ils peuvent aussi servir à façonner le champ d'action du dispositif.

Le champ d'action est évalué suivant la capacité du dispositif à couvrir les zones dangereuses. Ces zones sont définies dans le rapport du Groupe Cartier et elles sont illustrées comme suit :

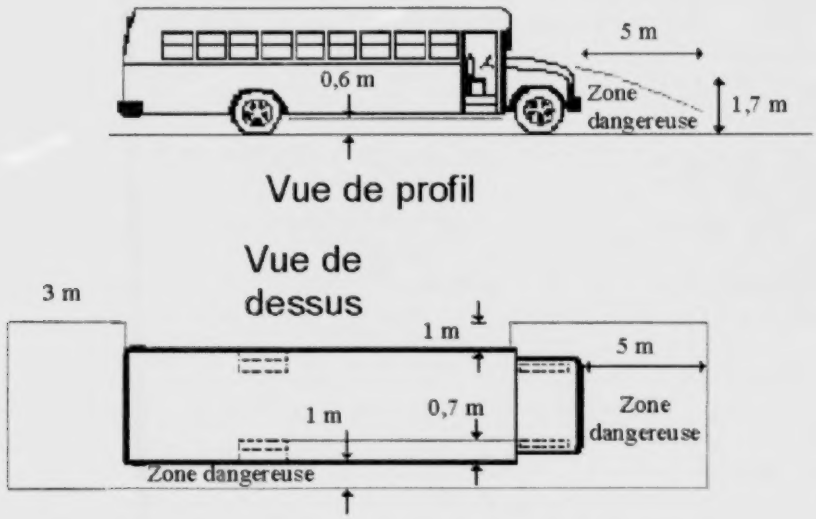


Figure 1. Zones dangereuses autour de l'autobus scolaire

Ces zones couvrent l'avant, les côtés et l'arrière de l'autobus. La pondération pour chaque zone contenue dans les critères d'évaluation reflète l'analyse des accidents impliquant des enfants heurtés par des autobus scolaires inclus dans le rapport du groupe Cartier. Selon cette analyse, dans la majorité des cas, l'enfant est frappé par l'avant de l'autobus (pondération de 72 %), mais l'enfant est souvent tué par la roue arrière de l'autobus. De là l'importance accordée dans la pondération à l'espace située sur les côtés et sous l'autobus (24 %). Les cas d'accidents impliquant l'arrière de l'autobus sont moins fréquents et leur pondération reflète cette fréquence, soit 4 %.

Une autre addition importante sous la catégorie «sécurité» est l'importance accrue accordée au temps de protection ou de détection du dispositif de protection. La grille d'évaluation comporte maintenant des critères d'évaluation touchant le moment d'activation du système de protection ou de détection. On ne parle plus uniquement du mouvement ou de l'arrêt de l'autobus scolaire, mais de la séquence d'activation.

D'autres éléments ont été ajoutés à la catégorie «sécurité» à titre d'information. Ce sont des critères qui pourraient être mesurés mais qui ne sont pas quantifiés dans la grille d'évaluation. Des critères tels que la mémoire d'enregistrement d'un dispositif, le temps d'action du dispositif, les émissions de sons et de radiations, l'auto-vérification des composantes et un signal sonore externe sont tous des éléments qui ne sont pas identifiés dans l'arbre de défaillances, ni dans l'analyse des tâches du conducteur, mais qui représentent des caractéristiques techniques de certains dispositifs. De ce fait, ces critères font partie de la grille d'évaluation sans être comptabilisés.

Critère «ergonomie»

Il est suggéré d'augmenter la pondération de la catégorie «ergonomie» de 25 à 40 %. Cet aspect est jugé aussi important que les critères de la catégorie «sécurité». Par exemple, les fausses alarmes produites par une dispositif peuvent avoir une effet négatif sur le comportement du conducteur qui ignorera ou désactivera le dispositif si celui-ci produit un signal errroné.

L'utilisation d'un dispositif de sécurité imposera dans certains cas des tâches additionnelles à celles déjà nombreuses du conducteur. Ceci doit donc se refléter dans la pondération associée à ces critères, car un dispositif qui ajoute des tâches au conducteur doit se voir pénaliser lors de l'évaluation globale. Le Comité consultatif technique a jugé cet aspect comme étant très important.

L'analyse de la tâche du conducteur réalisée par le Groupe Cartier a été jugée très complète et aucun élément nouveau n'est venu s'y ajouter à l'exception des éléments touchant les fausses alarmes de détection et d'autres nuisances qui pourraient ennuyer le conducteur.

À eux seuls, les critères «sécurité» et «ergonomie» représentent maintenant 90 % de toute la pondération.

Critère «économie et autres facteurs»

Même si l'enjeu économique des dispositifs ne fait pas partie intégrale d'une évaluation pouvant mener un jour à une réglementation sur ce sujet, l'élément économique demeure tout de même un facteur qui ne peut être négligé, car le décideur devra toujours considérer les coûts relatifs à l'achat et l'entretien d'un dispositif avant d'arrêter son choix. La pondération de ce facteur a été réduite à 10 %. De plus, d'autres critères tels les effets sonores et visuels ont été inclus sous cette catégorie. Il est à noter que l'arbre de défaillances ne contenait aucun facteur économique.

Sans diminuer l'importance de cette dernière catégorie, les critères retenus sont basés sur l'expérience limitée et parfois subjective des membres du Comité consultatif technique. Des changements pourraient être apportés ultérieurement à cette catégorie suite à l'expérience acquise lors de l'utilisation et de l'évaluation de dispositifs.

4.4 Grille d'évaluation

Les trois catégories de critères décrits à la section 4.3 constituent les éléments essentiels de la grille d'évaluation révisée. Sous chacune de celles-ci viennent s'ajouter des critères et des sous-critères qui identifient et définissent les éléments pertinents aux catégories «sécurité», «ergonomie», et «économie et autres facteurs». La grille d'évaluation révisée se retrouve à l'annexe D.

Aspect «sécurité»

Cette catégorie aborde les éléments suivants :

- La capacité du dispositif à détecter et prévenir la présence d'un enfant dans les zones dangereuses, de même que sa capacité à avertir le conducteur de cette présence et de lui permettre de différencier un enfant de tout autre objet comme un animal ou un sac d'école;

- Le champ d'action des dispositifs qui tient compte de la capacité du dispositif à couvrir la surface comprise dans les zones dangereuses définies à la figure 1. La pondération est proportionnelle au pourcentage des zones couvertes;

- Le moment et la durée de la protection ou de détection des dispositifs. Dans ce cas-ci, l'accent est mis sur les dispositifs qui se mettent en marche et s'arrêtent lorsque l'autobus est en mouvement. Il est à noter que la pondération est plus élevée si le dispositif fonctionne lorsque l'autobus est sur le point de s'arrêter ou de quitter la zone d'embarquement ou de débarquement. Dans ces situations, l'autobus se déplace à faible vitesse et parcourt une distance relativement courte. Le Comité consultatif technique est d'avis qu'un système qui ne fonctionne pas lorsque l'autobus scolaire est en mouvement (immédiatement avant et après l'arrêt) est un système moins performant.

Aspect «ergonomie»

Cette catégorie touche les éléments suivants :

- La nuisance potentielle du dispositif sur la tâche du conducteur;
- L'impact sensoriel, tactile et visuel du dispositif, la dextérité et les connaissances requises, et le niveau d'effort sur la tâche du conducteur;
- La qualité de l'interface dispositif-enfants à minimiser le risque ou les comportements à risque;
- Des aspects ergonomiques autres que ceux reliés à la tâche du conducteur ou à l'interface dispositif-enfant comme les fausses alarmes et les bruits involontaires et agaçants pouvant être produits par les dispositifs.

Aspect «économie et autres facteurs»

Cette catégorie touche trois éléments :

- Le coût relié à l'acquisition, à l'installation et à l'entretien des dispositifs;
- La fiabilité des dispositifs;
- Le bruit excessif produit par le dispositif à l'extérieur de l'autobus et qui pourrait gêner les gens qui ne sont pas ciblés par son fonctionnement.

La grille d'évaluation révisée est en format Excel. Cette version informatique permet d'évaluer la performance théorique d'un dispositif de sécurité et fait les ajouts automatiquement des évaluations.

4.5 Guide de l'utilisateur des outils d'évaluation

Les outils d'évaluation inclus dans le présent rapport ont été conçus pour aider les chercheurs, les conseils scolaires, les représentants des gouvernements et les transporteurs scolaires à identifier et à mesurer la capacité d'un dispositif de sécurité à réduire ou éliminer les risques qu'un enfant se fasse frapper par l'autobus scolaire. La grille a été conçue pour évaluer une gamme quasi infinie de dispositifs allant de barrières à des caméras en passant par des miroirs sophistiqués ou des détecteurs radars. Pour bien comprendre le contenu de la grille d'évaluation et son application, il est important que l'évaluateur ou l'utilisateur ait une connaissance fonctionnelle des éléments qui ont été pris en considération lors de son élaboration.

Il est donc important, avant d'utiliser la grille d'évaluation, de prendre connaissance du contenu de l'arbre de défaillances et de comprendre le rôle de chacun des facteurs et la relation qui les unit dans l'évènement sommet qui est l'accident que l'on désire éviter.

La connaissance des liens qui unissent les facteurs de risque et les tâches du conducteur permettent de mieux comprendre la grille d'évaluation révisée et de mesurer l'importance accordée aux éléments «sécurité» et «ergonomie» en termes de pondération.

Dans la grille d'évaluation chacun des critères est formulé sous forme de questions ayant un choix de réponses multiples. Ces réponses sont par la suite cotées pour permettre l'obtention d'une note globale pour chacun des critères, pour chacune des catégories et enfin, pour l'ensemble des critères pour un dispositif choisi.

La grille d'évaluation est un outil combinant les items de l'arbre de défaillances et d'autres critères qualitatifs qui s'y sont rajoutés, tels que décrits dans la section 4.4. Donc, si nous revoyons les principes de fonctionnement de cette grille, nous y retrouvons les trois catégories principales soit :

1. «Sécurité», avec 50 %;
2. «Ergonomie», avec 40 %;
3. «Économie et autres facteurs», avec 10 %.

Le total de ces trois catégories donnne une note globale finale possible de 100 % pour tout dispositif évalué.

Chaque catégorie est par la suite divisée en critères et sous-critères. À titre d'exemple, la catégorie «sécurité» est composé de trois critères :

1. Impact (mode d'action) du dispositif de sécurité, avec 100 %;
2. Champ d'action (portion de la zone dangereuse couverte), avec 100 %;

3. Temps de protection ou de détection du dispositif, avec 100 %.

Ces trois critères sont bâtis avec l'approche qu'un dispositif agira habituellement d'une seule façon : soit que le dispositif empêche l'enfant de se retrouver sous les roues de l'autobus, ou que le dispositif empêche la présence de l'enfant dans la zone dangereuse, ou que le dispositif détecte la présence de l'enfant et alerte le conducteur, ou que le dispositif aide tout simplement à détecter la présence d'un enfant. Ce ne sera que dans des cas très exceptionnels qu'un dispositif agira de plus d'une façon.

La note globale de ce niveau est donc : (100*100*100/100*100). Le total de ce critère «sécurité» est par la suite ramené à 50 % de l'évaluation totale, soit : 100*50/100=50 %

Par la suite, l'utilisateur remarquera que chaque critère est aussi composé de sous-critères. Toujours dans le cas de la catégorie «sécurité» et du critère 1 «Impact du dispositif de sécurité», ce dernier regroupe trois sous-critères d'évaluation :

1.1 Le dispositif empêche l'enfant de passer sous les roues de l'autobus, avec 100 %;
1.2 Le dispositif empêche l'enfant de se retrouver dans les zones dangereuses, avec 100 %;
1.3 Le dispositif détecte ou aide le conducteur à détecter la présence d'enfants, avec 95 %.

Comme le but ultime est toujours d'éliminer le ou les évènements menant à l'accident, i.e. empêcher l'enfant de passer sous les roues de l'autobus et/ou l'empêcher de se retrouver dans les zones dangereuses, alors si le dispositif prévient l'un ou l'autre de ces scénarios ou les deux, on lui accorde une note 100 %.

Dans le cas où un dispositif ne fait qu'aider le conducteur à détecter la présence d'un enfant (critère 1.3), l'évaluateur devra répondre à d'autres questions. En effet, si le dispositif ne rencontre pas les critères 1.1. et 1.2, et qu'il ne fait qu'aider la détection de l'enfant sans empêcher un accident potentiel, alors une note de 95 % est accordée. Par la suite, des sous-critères sous 1.3 définissent plus en détails l'aspect détection. Le contenu et la pondération de ces sous-critères proviennent de l'arbre de défaillances (événement 11 et 13) ou d'observations auprès de conducteurs d'autobus scolaires. Certains sous-critères sont évalués différemment et ont des pondérations qui peuvent varier entre 15, 35 et 45 %. C'est la somme de ces pondératrions qui formera le 95 %.

Une logique similaire s'applique pour les sous-critères qui caractérisent 1.3.2. Ces sous-critères se lisent comme suit :

1.3.2.1 Le dispositif amplifie l'image d'un enfant dans les zones dangereuses; (le pointage associé à ce sous-critère est de 15 % et l'évenement que l'on veut prévenir est la visibilté réduite événement (# 52) dans l'arbre de défaillances);
1.3.2.2 Le dispositif améliore la vision du conducteur dans les zones dangereuses; (le pointage associé à ce sous-critère est de 70 % et l'évenement que l'on veut

prévenir est le fait que le conducteur ne voit pas l'enfant (#13) dans l'arbre de défaillances);

1.3.2.3 Le dispositif fait la différence entre un enfant et un objet (le pointage associé à ce sous-critère est de 15 %).

Le pointage total du sous-critère 1.3.2 est de 100 %. Pour y arriver, il faut faire la somme des trois sous-sous critères, soit 15+70+15= 100 %. Ce total est ensuite réparti sur le total établi pour le sous-critère 1.3.2, soit 70 %.

Le sous-critère 1.3.2.2 a une note globale de 70 % et a aussi 4 sous-critères :

1.3.2.2.1 Améliore-t-il les contrastes? (le pointage associé à ce sous-critère est de 8 % et l'évenement que l'on veut prévenir est un contraste trop fort ou trop faible (#59 et #60) dans l'arbre de défaillances);

1.3.2.2.2 Améliore-t-il la clarté de la vision? (le pointage associé à ce sous-critère est de 7 % et les évènements que l'on veut contrer sont les effets des intempéries, un miroir qui reflète une image distordue, ou une fenêtre ou/et un miroir qui est sale (#61, #62, et #63) dans l'arbre de défaillances);

1.3.2.2.3 Permet de concentrer l'attention du conducteur sur la zone où se trouve l'enfant (le pointage associé à ce sous-critère est de 30 % et l'évènement que l'on veut prévenir est un conducteur qui ne regarde pas dans la zone où se trouve l'enfant (#53, #54) dans l'arbre de défaillances);

1.3.2.2.4 Aide le conducteur à percevoir les signaux provenant de personnes témoins de la scène (le pointage associé à ce sous-critère est de 40 % et l'évènement que l'on veut prévenir est un signal qui ne se rend pas au conducteur ou qui n'est pas clair (#35, #36) dans l'arbre de défaillances).

Le pointage total de ces sous-critères est donc de : 8+7+30+40 = 85 % d'une note possible de 70 %. Donc, pour obtenir la pondération finale il faut faire le calcul suivant : 8*70/85 ou 7*70/85 ou 30*70/85 ou 40*70/85.

Les critères 4 à 8 sous la catégorie «sécurité» (voir annexe D) ne sont inclus qu'à titre d'information dans un but de faire une évaluation la plus complète possible et n'ont pas d'impact sur le pointage.

Pour ce qui est de la catégorie «ergonomie», elle est composée de 3 critères qui ont chacun leur propre pondération :

1. Impact sur la tâche du conducteur, avec 50 %;
2. Interface dispositif-enfants, avec 40 %;
3. Autres aspects ergonomiques, avec 10 %.

Le pointage total est donc 50+40+10 = 100 % qui doit par la suite être pondéré sur une base de 40 %; le pourcentage de l'évaluation alloué à la catégorie «ergonomie». Le pointage global se calcule donc comme suit : 50*40/100 et 40*40/100 et 10*40/100.

Peu des critères ou sous-critères inclus dans cette catégorie ont un lien avec l'arbre de défaillances et ils sont parfois de nature qualitative. Par exemple, les choix d'un sous-critère se résument souvent de la sorte :

- Jamais – 100 %
- Rarement – 75 %
- Régulièrement – 50 %
- Très souvent – 25 %
- Toujours – 0 %

Il en est de même pour la catégorie «économie et autres facteurs» qui représente 10 % de la note totale. Comme pour le cas de la catégorie «ergonomie», plus l'impact du critère est élevé, plus le pourcentage est faible et vice-versa. Par conséquent, si le critère «économie» ne joue qu'un faible rôle dans l'évaluation du dispositif, le pourcentage qu'un dispositif pourra avoir pour cette catégorie sera élevé.

Les calculs se font automatiquement dans la grille Excel. Il est donc possible de voir l'évolution du pointage au fur et à mesure que l'utilisateur remplit la grille d'évaluation, ce qui permet de mieux comprendre la distribution des pointages.

Ainsi, pour compléter une évaluation de dispositif de sécurité, un utilisateur doit simplement apposer un «x» dans les cases appropriées de la grille sous la colonne marquée d'un «x». L'utilisateur se basera sur l'information fournit par le fabricant ou les opérateurs, ou encore sur son expérience personnelle, ou sur toute autre source d'information pertinente. Chaque question contenue dans la grille est explicite et offre un choix de réponses. Il ne faut faire qu'un seul choix par question. La somme de ces choix résultera en un pointage final qui sera basé sur un total de 100 %.

L'une des principales difficultés que peut rencontrer l'utilisateur est l'aspect qualitatif de certaines questions. Tel que mentionné précédemment, plusieurs questions relatives à la catégorie «ergonomie» offrent des réponses subjectives qui laissent une grande latitude à l'utilisateur. Une personne devra répondre au meilleur de sa connaissance, mais seul des essais subséquents sur route ou en laboratoire permettront vraiment de confirmer et valider la réponse.

À titre d'exemple, la question numéro 2 qui porte sur la proportion des zones dangereuses qui sont couvertes par le dispositif est très difficile à évaluer sans des essais préalables. Des essais permettraient de confirmer ou d'infirmer le choix fait lors de l'évaluation initiale.

Lorsque la grille d'évaluation est remplie, l'utilisateur peut alors utiliser le tableau général des catégories de critères du tableau 2 à titre récapitulatif et insérer les résultats obtenus à l'aide de la grille d'évaluation.

L'utilisateur peut par la suite décider de soumettre les dispositifs ayant obtenu les plus hauts pointages à des essais en laboratoire, en circuit fermé ou sur route.

5- Stratégie pour la sélection des dispositifs de détection pouvant être soumis à des essais

Dans le cadre d'un comité national visant l'identification et la revue de dispositifs de sécurité, nous suggérons que l'approche choisie pour la sélection de dispositifs devant mener au choix de ceux pouvant être mis à l'essai comporte les éléments suivants :

- Envoi d'une lettre d'intérêt de la part des fabricants ou des distributeurs de dispositifs de détection les invitant à fournir des informations techniques sur leurs technologies;
- Établissement d'un comité de sélection;
- Remise aux fabricants et distributeurs d'une copie électronique (format Excel) de la grille d'évaluation en leur demandant de la remplir et de la faire parvenir au comité de sélection;
- Évaluation par le comité de sélection des dispositifs en utilisant la grille d'évaluation;
- Invitation aux fabricants ou distributeurs à venir présenter les mérites de leurs dispositifs devant le comité d'évaluation. (Cette présentation permettra aux deux parties de discuter de la capacité des dispositifs à rencontrer les exigences de la grille d'évaluation.);
- Réévaluation des dispositifs à la suite des présentations des fabricants ou distributeurs;
- Sélection de deux ou trois dispositifs pouvant potentiellement être soumis à des essais en laboratoire, en circuit fermé et sur route;
- Vérification du besoin de permis spéciaux ou d'autorisations spéciales pour les essais routiers selon la province ou le territoire où les essais se dérouleront.

6- Programme d'essais des dispositifs sélectionnés

6.1 Caractéristiques générales des essais

L'un des objectifs de ce projet était de développer une méthodologie pour des essais en laboratoire, en circuit fermé et sur route pour des dispositifs de sécurité qui auraient préalablement été évalués avec la grille d'analyse.

Deux méthodes d'essais et de tests ont été développées afin d'évaluer techniquement les dispositifs sélectionnés. Cette évaluation est faite en deux étapes :

- Essais en laboratoire
- Essais sur le terrain
- Essais en circuit fermé
- Essais sur route – circuit scolaire

Il faut rappeler que les dispositifs de détection doivent permettre au conducteur de détecter une situation potentiellement dangereuse pour les enfants se trouvant dans l'entourage immédiat du véhicule scolaire. Pour être en mesure de mieux expliquer ces zones dangereuses, la figure 2 montre le champ de vision du conducteur d'un autobus scolaire.

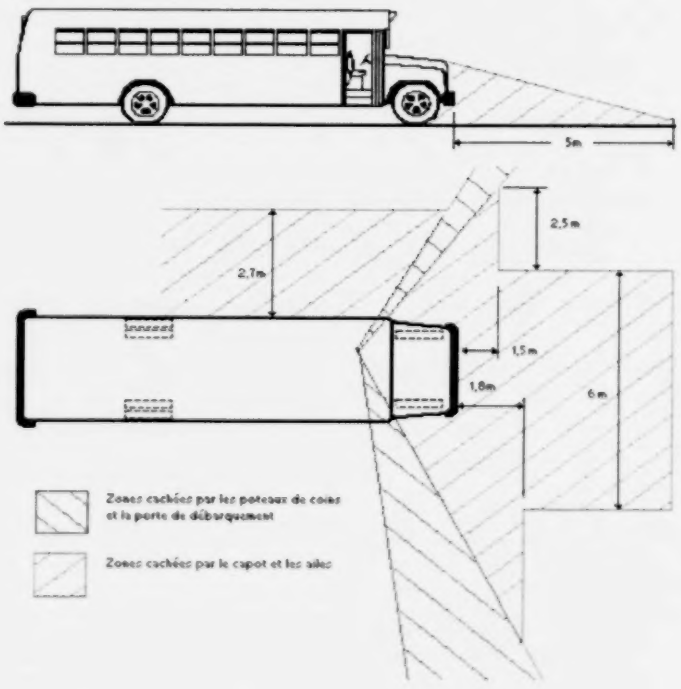


Figure 2. Zones non-visibles à l'œil du conducteur

Comme on peut le constater à la figure 2, le conducteur ne peut voir ce qui se trouve au sol qu'à cinq mètres à l'avant de l'autobus. Les zones les plus à risques ou propices aux accidents sont l'avant de l'autobus et en avant de la roue arrière droite. Ces zones dangereuses sont montrées à la figure 3. Ces zones sont classifiées comme étant dangereuses parce que le conducteur ne peut voir un enfant se trouvant dans ces endroits. Ainsi, toute personne se trouvant dans les zones dangereuses lorsque l'autobus démarre est potentiellement en danger. Le danger le plus grand est causé évidemment par les roues du véhicule. Un dispositif de détection doit permettre de repérer des enfants autour de ces zones.

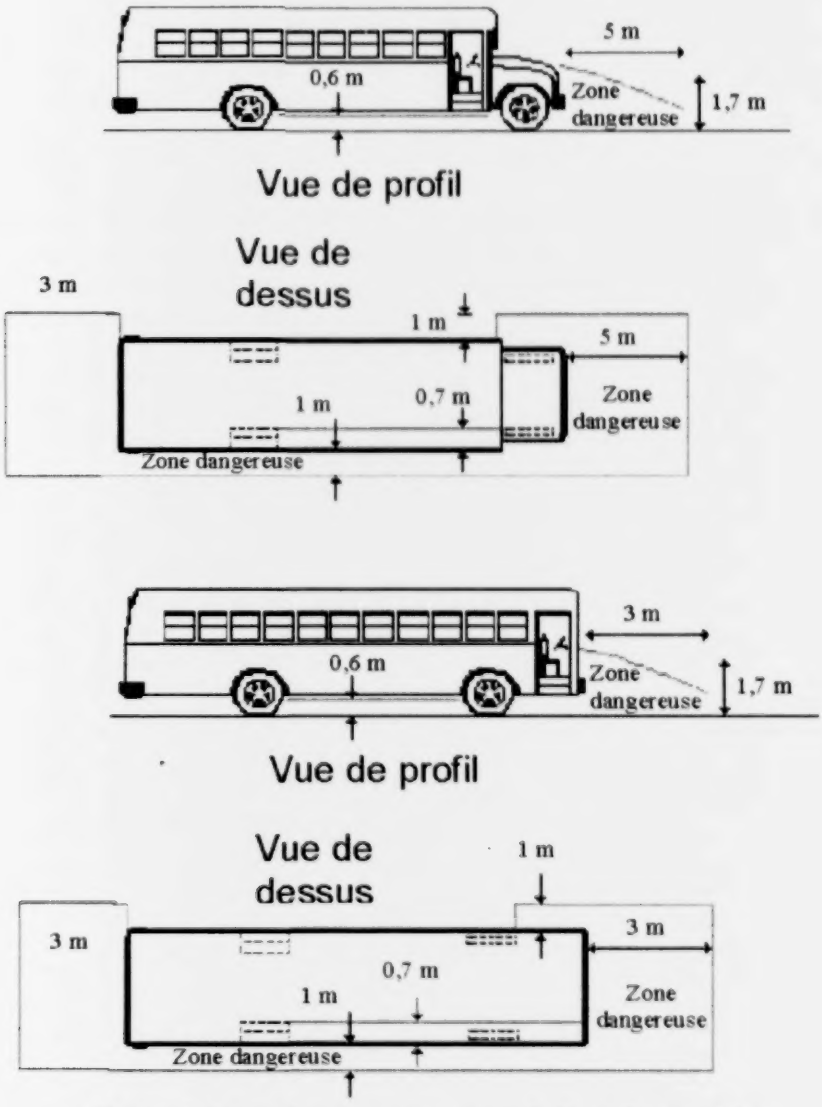


Figure 3. Zones dangereuses autour de l'autobus scolaire

Les dimensions des zones dangereuses ont été établies lors d'une étude réalisée en 1996 par Dubé et Kaffel et portant sur les systèmes de sécurité pour autobus scolaires [2]. Ces zones ont été revues et validées par le Comité consultatif technique du présent projet.

Cette étude soutient que la procédure d'évaluation des dispositifs de détection est basée sur plusieurs règles et qu'il est difficile d'établir des essais en laboratoire universels pour tous les dispositifs de détection, les technologies variant énormément entre elles. Par contre, certains principes de base peuvent être maintenus. Ces principes sont présentés en Annexe E.

6.2 Procédure d'évaluation en laboratoire

Le but de l'évaluation en laboratoire est de vérifier l'opération de dispositifs et de mesurer les performances exactes des dispositifs choisis qui seront ensuite évaluées sur le terrain. On mesurera les performances annoncées des dispositifs par les fabricants et la capacité de ceux-ci à fonctionner correctement sous des conditions semblables au climat canadien.

Ces essais de courte durée permettront de savoir si les dispositifs choisis peuvent être installés sécuritairement sur un autobus scolaire et testés sur une période de temps dans des conditions climatiques sévères et normales.

Les ressources suivantes seront nécessaires pour réaliser les procédures d'essais en laboratoire :

Ressources humaines : Ces essais seront réalisés par un technicien en mécanique et un technicien en électronique sans la présence d'enfants.

Ressources matérielles : Les dispositifs seront installés sur un autobus à nez long et sur un autobus à nez plat à l'intérieur dans un entrepôt ou un garage.

Durée prévue : Deux semaines.

6.2.1 Procédure d'évaluation en laboratoire de dispositifs mécaniques

- Installer le dispositif mécanique sur un autobus scolaire;
- Vérifier que le dispositif de garde se met automatiquement en position lorsque l'autobus s'arrête ou avant que cette dernière ne s'arrête;
- Vérifier que son déploiement ou repliement ne présente aucun danger pour la santé physique de l'écolier;
- Vérifier que, selon le type de dispositif, il accomplit une des tâches suivantes :
  a) Dans le cas de jupes de protection, celles-ci devront repousser un mannequin de la taille d'un enfant âgé entre 6 et 12 ans couché sur le sol pour éviter qu'il ne passe sous les roues avant de l'autobus ou sous la roue arrière droite de l'autobus. Le dispositif devra émettre une alarme sonore pour prévenir le conducteur lorsque les jupes viennent en contact avec le mannequin. De plus, le mannequin ne devra pas

subir de chocs pouvant entraîner des blessures graves lorsqu'il est repoussé par le dispositif. Ceci peut s'effectuer à l'aide d'un objet fabriqué de taille, de poids et de flexibilité semblable aux caractéristiques d'un enfant.

b) Dans le cas de barrières, celles-ci devront forcer l'enfant à circuler hors des zones dangereuses à l'avant du véhicule. De plus, les barrières ne doivent pas avoir d'arêtes vives pouvant blesser un enfant.

- Vérifier qu'au moment de remettre en mouvement l'autobus scolaire le dispositif de garde se remet dans sa position initiale.

6.2.2 Procédure d'évaluation en laboratoire de dispositifs de détection

- Installer le dispositif de détection sur un autobus scolaire;
- Vérifier le bon fonctionnement de l'appareil suivant les recommandations du manufacturier;
- Mettre le dispositif de détection en marche;
- Vérifier que le dispositif est actif aux étapes critiques de la procédure d'embarquement et de débarquement des écoliers. Ce qui veut dire à 20 mètres de l'arrêt complet du véhicule, à tout moment durant l'arrêt, et durant les premiers 20 mètres après le départ de l'autobus de la zone d'embarquement ou de débarquement;
- Vérifier que le dispositif de détection n'émet aucune alarme pour tout corps situé à l'extérieur des zones dangereuses;
- Vérifier que le dispositif détecte un enfant ou tout corps mobile similaire à un enfant penché se déplaçant dans les zones dangereuses du véhicule. La vitesse du corps sera comparable à celle d'un enfant qui marche selon les scénarios suivants :
  - Un enfant marche en travers de la route de gauche à droite ou de droite à gauche,
  - Un enfant retourne dans les zones dangereuses à l'avant de l'autobus ou sur le côté de l'autobus,
  - Un enfant court dans les zones dangereuses,
  - Un enfant couché par terre dans les zones dangereuses à angle de 0° et de 90° avec l'autobus scolaire,
  - Un enfant penché dans les zones dangereuses;
- Vérifier que le dispositif détecte tout corps de dimension comparable à celui d'un enfant immobile sur le sol dans les zones dangereuses lorsque le véhicule bouge entre 0 et 5 km/h sans émettre de fausses alarmes;
- Vérifier que des conditions extrêmes n'affectent pas les performances du dispositif :
  - Mesurer de façon précise le temps de détection des objets,
  - Déterminer les facteurs qui causent des fausses alarmes (matériaux de caoutchouc, bois, plastique, composite, métal, béton, neige, matériaux absorbant, éclairage et bornes fontaines et téléphone sans fil),
  - Déterminer les facteurs qui causent une non-détection (enfant courant à grande vitesse, enfant couché, angle de course, plusieurs enfants regroupés et adulte avec des enfants).

Lorsque le dispositif étudié aura été jugé efficace et sans danger pour les enfants, celui-ci pourrait alors être soumis à des conditions environnementales sévères dans une chambre environnementale. Les ressources suivantes sont requises :

Ressources humaines : Un technicien.
Ressources matérielles : Une chambre environnementale et les dispositifs installés sur un autobus à nez long ou à nez plat.
Durée prévue : Une semaine.

Les essais suivants seront alors effectués :

- Être fonctionnel à des températures variant de -30 °C à 35 °C;
- Fonctionner dans des conditions de pluies extrêmes;
- Ne pas être affecté par des conditions normales de poussière, pluie, neige et verglas sur ses surfaces externes.

6.3 Programme d'essais en circuit fermé

Lorsque les essais en laboratoire sont terminés et que l'évaluation d'un dispositif donne des résultats satisfaisants et fiables, le dispositif peut alors subir des essais en circuit fermé.

6.3.1 Essais dans un endroit sans circulation (cour d'école déserte ou stationnement)

Le but de cet exercice est la vérification systématique du dispositif (activé) à détecter la présence de piétons autour de l'autobus scolaire dans un stationnement d'au moins 50 m x 50 m avec aucune circulation et aucun obstacle. L'autobus scolaire sera immobile au centre de la zone d'essai. Aucun autre véhicule n'est nécessaire pour ces essais.

Durée prévue : Une demi-journée.

Équipement requis :
- un autobus muni du dispositif de détection (installé au préalable);
- matériel requis :
  - ruban à mesurer,
  - cordeau à craie et craie pour asphalte,
  - «walkie-talkie»,
  - appareil photo ou caméra vidéo.

Ressources humaines :
- un conducteur d'autobus,
- deux expérimentateurs,
- deux enfants, l'un de petite taille (5-7 ans), l'autre plus grand (9-10 ans) et de taille moyenne pour leurs âges.

Endroit d'expérimentation :

- cour d'école déserte (ou grand terrain de stationnement non occupé)

Description des essais

Paramètres de la grille d'essais selon la grille des essais décrite au tableau 3.

- distance du sujet (par rapport à l'autobus),
- angle d'approche,
- taille du piéton.

Tableau 3. Distribution des paramètres d'angle et de distance du piéton par rapport à l'autobus et à la taille du piéton

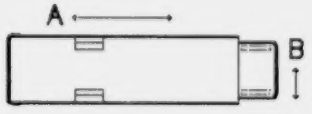
Angle	Distance	Piéton
30 degrés	- 1 m	adulte
30 degrés	- 1 m	adulte
30 degrés	- 1 m	adulte
45 degrés	1 à 3 m	enfant 1
45 degrés	1 à 3 m	enfant 1
45 degrés	1 à 3 m	enfant 1
60 degrés	3 m +	enfant 2
etc.	etc.	etc.
180 degrés		

Méthode suggérée :

Il est recommandé d'utiliser un dessin représentant un quadrillage au mètre carré de la surface au sol permettant de déterminer précisément les endroits, autour de l'autobus scolaire, où le conducteur détecte la présence d'enfants par simple vision et rétroviseur ainsi que par un ou des systèmes de détection. Cette cartographie permettra donc de cerner les endroits où la détection est impossible.

Il s'agit de tracer un quadrillage autour de l'autobus stationné à l'aide d'un cordeau à craie représentant les zones de danger pour un piéton (voir la figure 4).

- Déplacement de l'enfant d'un carré à l'autre 0,25 m x 0,25 m (1 pi^2), de façon systématique, et selon un ordre pré-établi. Il faut faire ce «passage» deux fois : de manière parallèle à la longueur de l'autobus (A) et de manière perpendiculaire à la longueur de l'autobus (B). De plus, ces passages se font avec des arrêts dans chaque carré et en marche continu;



- Cartographier : noter, pour chacun des carrés, si l'enfant est perçu par le conducteur (vision directe ou par miroir) ou par le dispositif (ou les deux);

- Deux ou trois essais : 1- avec un enfant plus jeune (5 à 7 ans), 2- avec un enfant plus vieux (9 à 11 ans), 3- possibilité de faire un essai avec un adulte.

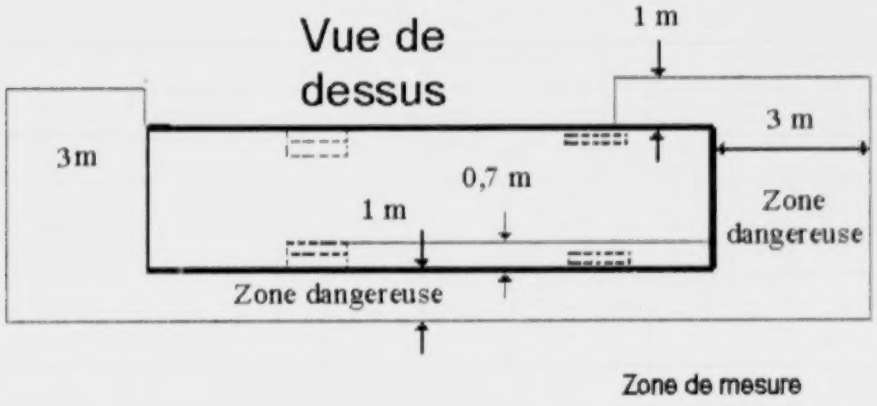


Figure 4. Quadrillage de mesures pour la couverture des zones dangereuses

6.3.2 Essais complémentaires (mauvaises conditions climatiques)

Reprise des essais précédents (dans une cour d'école déserte) dans des conditions environnementales plus difficiles :

- Noirceur,
- pluie/neige,
- brouillard.

Durée prévue : Deux demi-journées (en fonction des conditions climatiques).

Équipement requis :
- un autobus équipé du système de détection (installé au préalable)
- matériel d'observation : enregistrement vidéo, «walkie-talkie», chronomètres, grilles d'observation et de notation déjà préparées.

Ressources humaines :
- un conducteur d'autobus,
- deux expérimentateurs. Un expérimentateur voyage avec le conducteur et prend des notes sur le comportement des écoliers et du conducteur,
- deux enfants, l'un de petite taille (5-7 ans), l'autre plus grand (9-10 ans) et de taille moyenne pour leurs âges.

Endroit d'expérimentation :
- cour d'école déserte (ou grand terrain de stationnement non occupé).

6.4 Programme d'essais sur route

Suite aux essais en circuit fermé, et après corrections et ajustements des systèmes de détection (si nécessaire), les essais sur route amènent l'utilisation d'un autobus équipé des systèmes de détection dans des circuits réguliers de transport d'écoliers.

Durée prévue : Trois à quatre semaines (en fonction des possibilités de rotation des conducteurs et des circuits).

Équipement requis :
- un autobus équipé d'un dispositif de détection installé et déjà validé dans les essais en laboratoire et en circuit fermé,
- matériel d'observation : enregistrement vidéo, chronomètres, grilles d'observation et de notation déjà préparées.

Ressources humaines :
- 20 conducteurs d'autobus,
- deux expérimentateurs et l'un des expérimentateurs voyage avec le conducteur et prend des notes sur le comportement des écoliers et du conducteur.

Endroit d'expérimentation :
- circuits réguliers de transport d'écoliers.

Description des essais

- Chacun des 20 conducteurs utilise à tour de rôle dans son circuit régulier l'autobus équipé du système de détection (en condition activée), et cela à deux reprises;
- Après chaque circuit, le conducteur est interrogé sur la performance et ses impressions du dispositif (5 à 7 minutes).

Paramètres évalués par l'entrevue avec le conducteur

- degré de satisfaction générale des conducteurs à l'égard de l'utilisation du système,
- avantages perçus du système, selon les conducteurs,
- inconvénients du système, selon les conducteurs,
- situations pour lesquelles le dispositif peut prévenir l'évènement indésirable,
- impression de détection dans les zones dangereuses.

À la fin des essais sur route, les données enregistrées par vidéo et, pour certains dispositifs, enregistrées sur des ordinateurs, seront analysées et comparées aux informations obtenues sur le terrain par les expérimentateurs.

7- Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation révisée et validation des essais proposés en circuit fermé

La fonctionnalité de la grille d'évaluation révisée a été vérifiée en utilisant le bras d'éloignement. Ce dispositif mécanique est utilisé sur plusieurs autobus scolaires. Les résultats de cette vérification se retrouvent à l'annexe F. La grille d'évaluation a donné les résultats escomptés lors de cette vérification. Un résultat cumulatif complet a été obtenu et il était possible à tout moment de modifier ou corriger ses choix. De plus, la grille d'évaluation ne permettait pas l'entrée de réponses multiples à une même question. Du point de vue fonctionnel, la grille d'évaluation a fourni des résultats escomptés pour chacun des trois principaux critères : «sécurité», «ergonomie» et «économie et autres facteurs».

Dans un but de valider la procédure d'essais proposée en circuit fermé, des essais ont été effectués sur une piste d'essais localisée à Blainville[1], Québec. Un autobus scolaire (modèle-année 2001) a été muni d'un dispositif de détection radar et de capteurs, informant le conducteur de la présence d'objets et de personnes autour du véhicule. Le conducteur pouvait aussi mettre le dispositif hors-circuit s'il le désirait. Un système visuel et auditif avertissait le conducteur de la présence d'un objet ou d'une personne.

Le but de ces essais n'était pas d'évaluer le dispositif, mais plutôt de valider la procédure recommandée pour des essais en circuit fermé. Il a été démontré que les déplacements de piétons autour du véhicule devaient se faire à faible vitesse afin de permettre de mieux mesurer la couverture des déplacements dans les zones dangereuses. Cette validation a également confirmé que la procédure recommandée pour les essais en circuit fermé est adéquate.

Il est à noter qu'il a été impossible de faire des essais sur route, car il aurait été préalablement nécessaire d'obtenir les autorisations légales nécessaires des ministères provinciaux concernés.

---

[1] PMG Technologies. Centre d'essais et de recherche, 100 rue du Landais, Blainville, Québec, Canada, J7C 5C9.

8- Conclusion

L'objectif du présent mandat était de réviser et de valider des critères d'évaluation établis lors d'un précédent projet et de développer des procédures d'essais qui seront utilisées dans une phase subséquente lorsqu'un comité consultatif technique aura sélectionné certains dispositifs.

Le projet précédent a utilisé trois sources d'information pour comprendre les risques encourus par un enfant autour de l'autobus scolaire et les causes de ces accidents : les statistiques d'accidents, l'observation sur le terrain et la consultation auprès d'un groupe de discussion formé de conducteurs d'autobus scolaires. Ceci a résulté au développement d'un arbre de défaillances qui est présenté à l'annexe A. Le présent rapport ne suggère que quelques ajouts mineurs à cet arbre de défaillances.

Le premier projet contenait aussi une grille d'évaluation pondérée. Quelques modifications ont été effectuées à cette grille originale :

- Critères d'évaluation et pondération
  Les cinq catégories de critères d'évaluation originales ont été regroupées en trois catégories, soit : «sécurité», «ergonomie» et «économie et autres facteurs». Le changement le plus significatif est probablement la pondération plus importante donnée à la catégorie «ergonomie» qui a été majorée de 25 % à 40 %. Cette majoration est justifiée par l'importance des facteurs ergonomiques dans l'utilisation des dispositifs de détection des piétons et de l'impact de l'accroissement possible des tâches du conducteur et de la nuisance potentielle des fausses alarmes.

- Grille d'évaluation
  La grille d'évaluation a subi plusieurs modifications. La catégorie «sécurité» a été révisée pour y inclure plusieurs critères techniques importants reliés à la détection des piétons dans les zones dangereuses autour du véhicule, et pour tenir compte du moment d'activation des dispositifs. Le contenu de la catégorie «ergonomie» a peu changé mais le problème important des fausses alarmes produites parfois par les dispositifs a été valorisé. La catégorie «économie et autres facteurs» contient maintenant des éléments et des pondérations qui reflètent mieux la réalité actuelle des opérateurs et fabricants.

Pour répondre aux objectifs du projet, des procédures d'essais en laboratoire, en circuit fermé et sur route ont été développées. La procédure proposée d'essais en laboratoire reconnaît la difficulté de définir une méthodologie universelle pour tous les types de dispositifs de sécurité. À cet effet, une démarche différente est proposée pour les dispositifs mécaniques et électroniques. La procédure d'essais en laboratoire reconnaît aussi la nécessité de soumettre les dispositifs aux rigueurs de notre climat.

Le rapport contient aussi des recommandations pour des essais en circuit fermé et sur route. Des suggestions sont proposées pour évaluer la performance des dispositifs de

sécurité afin de mesurer leur efficacité selon divers scénarios possibles. L'importance de bien couvrir les zones dangereuses est soulignée.

Une vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation révisée a été effectuée en utilisant l'un des dispositifs de détection mécanique disponible sur le marché. Cette vérification a permis de s'assurer que la grille est fonctionnelle et donne les résultats escomptés. L'annexe F contient les résultats de cette vérification. Les procédures proposées pour les essais en circuit fermé ont aussi été validées en utilisant un dispositif commercial de détection de piétons.

Le présent rapport contient un guide de l'utilisateur qui permet de comprendre les éléments de la grille d'évaluation et qui facilite son utilisation. Finalement, une démarche est proposée pour une phase subséquente qui serait axée sur une évaluation théorique des dispositifs par l'utilisation de la grille d'évaluation et sur des mises à l'essai en laboratoire, en circuit fermé et sur route.

Références

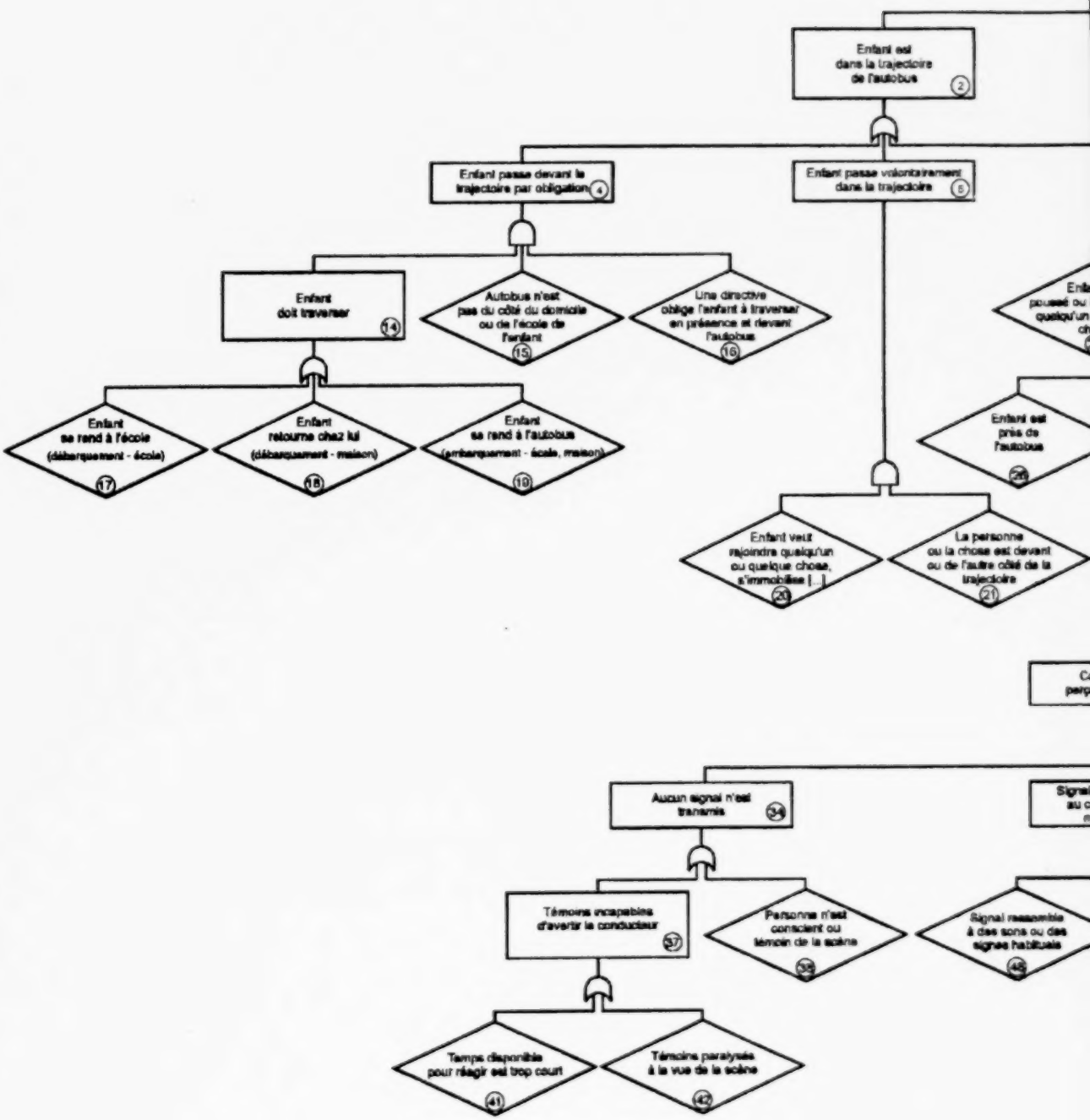
1. Groupe Cartier & les consultants Génicom, *Critères d'évaluation de dispositifs d'aide à la détection d'enfants aux arrêts d'autobus scolaires*, Transports Canada, Centre de développement des transports, TP 13221F, 83 p., 1998.

2. Dubé, Y. & Kaffel, M., *Systèmes de sécurité pour autobus scolaire*, Ministère des Transports du Québec, 101 p., 1996.

3. Bergeron, J., Tardif, L-P, & Paquette, M., *Systèmes de détection et d'évitement des collisions pour les véhicules lourds*, Ministère des Transports du Québec, 87 p., 2001.

ANNEXE A

Arbre de défaillances


Enfant est dans la trajectoire de l'autobus (2)
Enfant passe devant la trajectoire par obligation (4)
Enfant passe volontairement dans la trajectoire (5)
Enfant doit traverser (14)
Autobus n'est pas du côté du domicile ou de l'école de l'enfant (15)
Une directive oblige l'enfant à traverser en présence et devant l'autobus (16)
Enfant se rend à l'école (débarquement - école) (17)
Enfant retourne chez lui (débarquement - maison) (18)
Enfant se rend à l'autobus (embarquement - école, maison) (19)
Enfant est pris de l'autobus (26)
Enfant veut rejoindre quelqu'un ou quelque chose, s'immobilise [...] (20)
La personne ou la chose est devant ou de l'autre côté de la trajectoire (21)
Aucun signal n'est transmis (34)
Témoins incapables d'avertir le conducteur (37)
Personne n'est conscient ou témoin de la scène (38)
Signal ressemble à des sons ou des signes habituels (45)
Temps disponible pour réagir est trop court (41)
Témoins paralysés à la vue de la scène (42)

Enfant est blessé par l'autobus (1)

Autobus se déplace (4)

Autobus démarre (7)

Conducteur appuie sur l'accélérateur (9)

Conducteur ne détecte pas la présence de l'enfant (11)

Autobus est entraîné en l'absence de la volonté du conducteur (10)

Frein à main n'est pas actionné (72)

Freins ne sont pas en fonction (73)

Défectuosité des freins (75)

Conducteur enlève involontairement le pied du frein (76)

Conducteur ne met pas le pied sur le frein (77)

Soulier du conducteur glisse de la pédale (78)

Force entraîne l'autobus (74)

Transmission tourne (79)

Transmission est embrayée (82)

Conducteur échappe la pédale d'embrayage (83)

Autobus est dans une pente la transmission au neutre (80)

Autobus est frap par un autre véhi (81)

Enfant est entraîné involontairement dans la trajectoire (6)

Enfant est poussé ou bousculé par quelqu'un ou quelque chose (22)

Enfant est accroché par l'autobus (23)

Enfant glisse (24)

Enfant fait un faux pas ou trébuche (25)

Enfant est pris de l'autobus (26)

Élément de l'habillement ou des accessoires de l'enfant offre une prise (27)

Éléments de l'autobus sont accrochants (28)

Présence d'obstacles (29)

Enfant se heurte ou marche sur l'obstacle (30)

Chaussée est glissante (31)

Souliers de l'enfant n'ont pas assez d'adhérence (32)

Vitesse de déplacement de l'enfant est trop grande (33)

Conducteur ne perçoit aucun signal (12)

Conducteur ne voit pas l'enfant (13)

Signal transmis se rend au conducteur mais n'est pas clair (35)

Signal se confond avec le bruit (46)

Signal transmis ne se rend pas au conducteur (36)

Conducteur n'est pas attentif (34)

Signal est bloqué (40)

Signal sonore est plus faible que le bruit environnant (43)

Signal visuel est obstrué par quelque chose (44)

Enfants crient (45)

Moteur fait du bruit (46)

Bruits à l'extérieur autres que ceux des enfants ou du moteur (47)

Enfant ne peut être vu ni directement ni indirectement (50)

Présence de zones aveugles (55)

Enfant est dans une zone aveugle (56)

Conducteur regarde sans porter attention à la présence de l'enfant (51)

Visibilité est réduite (52)

Contraste n'est pas adéquat (57)

Contraste est trop élevé (58)

Lumière très intense (soleil en arrière plan) (64)

Pas de filtre pour atténuer l'intensité lumineuse (65)

Contraste est trop faible (59)

Couleur de l'habillement se confond avec l'environnement (66)

Manque d'éclairement (67)

Système d'éclairage insuffisant (68)

Endroit est sombre (69)

Le soleil est couché (70)

Présence d'ombres indésirables (71)

Image est brouillée (54)

Intempéries (61)

Miroirs reflètent une image distordue ou sont mal ajustés (62)

Fenêtres et/ou miroirs sont sales ou abîmés (63)

Conducteur ne regarde pas dans la zone où se trouve l'enfant (53)

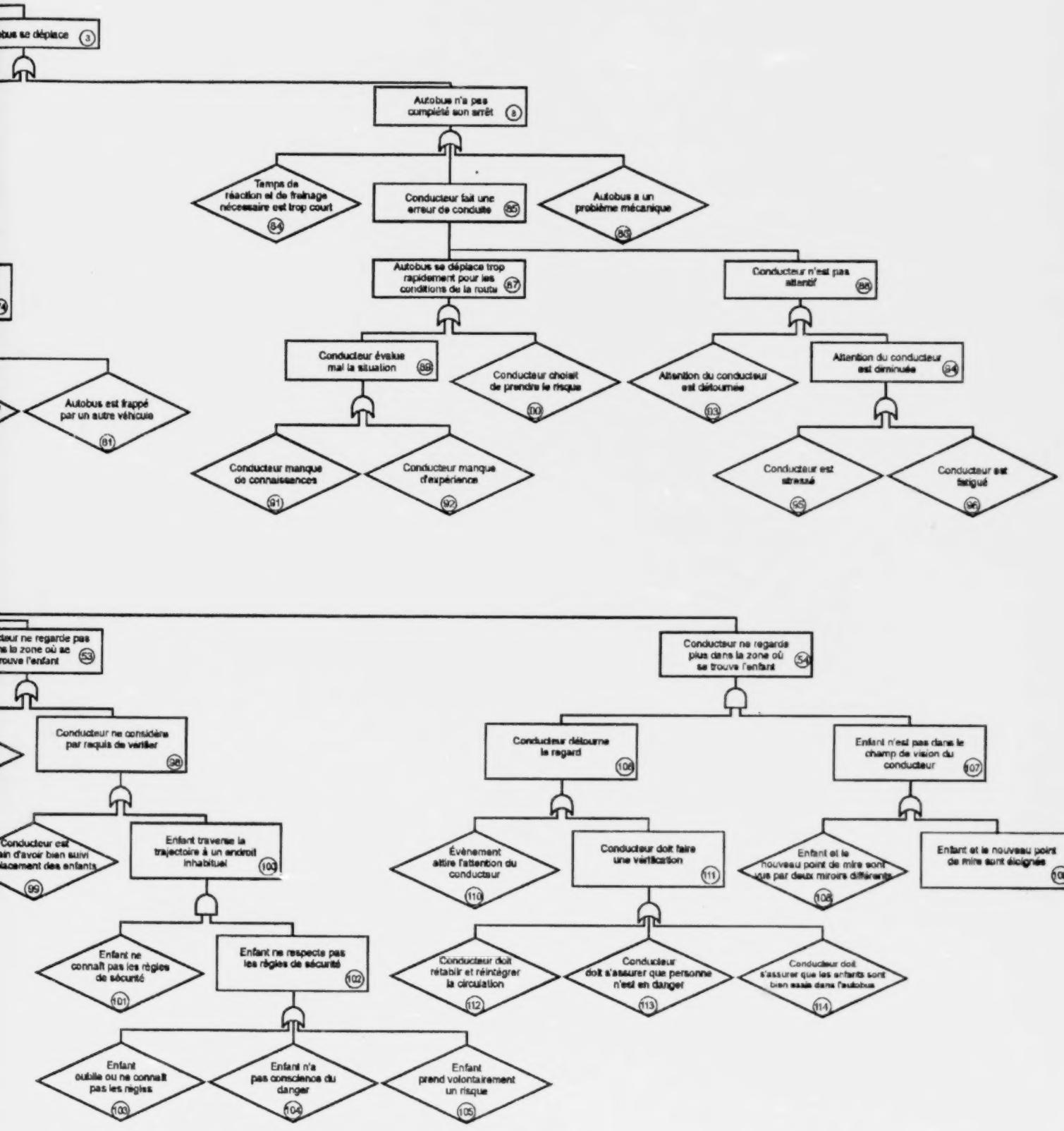
Conducteur oublie de vérifier (97)

Conducteur ne co par requis de ve

Conducteur est certain d'avoir bien suivi le déplacement des enfants (99)

Enfant n connaît pas les de sécuri (101)

Enfant oublie ou ne pas les re (103)


bus se déplace 3
Autobus n'a pas complété son arrêt 8
Temps de réaction et de freinage nécessaire est trop court 84
Conducteur fait une erreur de conduite 85
Autobus a un problème mécanique 83
Autobus se déplace trop rapidement pour les conditions de la route 87
Conducteur n'est pas attentif 86
Conducteur évalue mal la situation 88
Conducteur choisit de prendre le risque 100
Attention du conducteur est détournée 93
Attention du conducteur est diminuée 94
Autobus est frappé par un autre véhicule 81
Conducteur manque de connaissances 91
Conducteur manque d'expérience 92
Conducteur est stressé 95
Conducteur est fatigué 96
teur ne regarde pas s la zone où se rouve l'enfant 53
Conducteur ne regarde plus dans la zone où se trouve l'enfant 54
Conducteur ne considère par requis de veiller 98
Conducteur est ain d'avoir bien suivi placement des enfants 99
Enfant traverse la trajectoire à un endroit inhabituel 103
Conducteur détourne la regard 106
Enfant n'est pas dans le champ de vision du conducteur 107
Événement attire l'attention du conducteur 110
Conducteur doit faire une vérification 111
Enfant et le nouveau point de mire sont vus par deux miroirs différents 108
Enfant et le nouveau point de mire sont éloignés 109
Enfant ne connaît pas les règles de sécurité 101
Enfant ne respecte pas les règles de sécurité 102
Conducteur doit rétablir et réintégrer la circulation 112
Conducteur doit s'assurer que personne n'est en danger 113
Conducteur doit s'assurer que les enfants sont bien assis dans l'autobus 114
Enfant oublie ou ne connaît pas les règles 103
Enfant n'a pas conscience du danger 104
Enfant prend volontairement un risque 105

ANNEXE B

Évènements inclus dans l'arbre de défaillances

Évènements inclus dans l'arbre de défaillances

1	Enfant est blessé par l'autobus
2	Enfant est dans la trajectoire de l'autobus
3	Autobus se déplace
4	Enfant passe devant la trajectoire par obligation
5	Enfant passe volontairement dans la trajectoire
6	Enfant est entraîné involontairement dans la trajectoire
7	Autobus démarre
8	Autobus n'a pas complété son arrêt
9	Conducteur appuie sur l'accélérateur
10	Autobus est entraîné en l'absence de la volonté du conducteur
11	Conducteur ne détecte pas la présence de l'enfant
12	Conducteur ne perçoit aucun signal
13	Conducteur ne voit pas l'enfant
14	Enfant doit traverser
15	Autobus n'est pas du côté du domicile ou de l'école de l'enfant
16	Une directive oblige l'enfant à traverser en présence et devant l'autobus
17	Enfant se rend à l'école (débarquement – école)
18	Enfant retourne chez lui (débarquement – maison)
19	Enfant se rend à l'autobus (embarquement – école, maison)
20	Enfant veut rejoindre quelqu'un ou quelque chose, ***s'immobilise brusquement pour ramasser quelque chose ou revient sur ses pas pour ramasser quelque chose***
21	La personne ou la chose est devant ou de l'autre côté de la trajectoire
22	Enfant est poussé ou bousculé par quelqu'un ou quelque chose
23	Enfant est accroché par l'autobus
24	Enfant glisse
25	Enfant fait un faux pas ou trébuche
26	Enfant est près de l'autobus
27	Élément de l'habillement ou des accessoires de l'enfant offre une prise
28	Éléments de l'autobus sont accrochants
29	Présence d'obstacles
30	Enfant se heurte ou marche sur l'obstacle
31	Chaussée est glissante
32	Souliers de l'enfant n'ont pas assez d'adhérence
33	Vitesse de déplacement de l'enfant est trop grande
34	Aucun signal n'est transmis
35	Signal transmis se rend au conducteur mais n'est pas clair
36	Signal transmis ne se rend pas au conducteur
37	Témoins incapables d'avertir le conducteur
38	Personne n'est conscient ou témoin de la scène
39	Conducteur n'est pas attentif
40	Signal est bloqué
41	Temps disponible pour réagir est trop court

42	Témoins paralysés à la vue de la scène
43	Signal sonore est plus faible que le bruit environnant
44	Signal visuel est obstrué par quelque chose
45	Enfants crient
46	Moteur fait du bruit
47	Bruits à l'extérieur autres que ceux des enfants ou du moteur
48	Signal ressemble à des sons ou signes habituels
49	Signal se confond avec le bruit
50	Enfant ne peut être vu ni directement ni indirectement
51	Conducteur regarde sans porter attention à la présence de l'enfant
52	Visibilité est réduite
53	Conducteur ne regarde pas dans la zone où se trouve l'enfant
54	Conducteur ne regarde plus dans la zone où se trouve l'enfant
55	Présence de zones aveugles
56	Enfant est dans une zone aveugle
57	Contraste n'est pas adéquat
58	Image est brouillée
59	Contraste est trop élevé
60	Contraste est trop faible
61	Intempéries
62	Miroirs reflètent une image distordue ***ou sont mal ajustés***
63	Fenêtres et/ou miroirs sont sales ou abîmés
64	Lumière très intense (soleil en arrière plan)
65	Pas de filtre pour atténuer l'intensité lumineuse
66	Couleur de l'habillement se confond avec l'environnement
67	Manque d'éclairement
68	Système d'éclairage insuffisant
69	Endroit est sombre
70	Le soleil est couché
71	Présence d'ombres indésirables
72	Frein à main n'est pas actionné
73	Freins ne sont pas en fonction
74	Force entraîne l'autobus
75	Défectuosité des freins
76	Conducteur enlève involontairement le pied du frein
77	Conducteur ne met pas le pied sur le frein
78	Soulier du conducteur glisse de la pédale
79	Transmission tourne
80	Autobus est dans une pente la transmission au neutre
81	Autobus est frappé par un autre véhicule
82	Transmission est embrayée
83	Conducteur échappe la pédale d'embrayage
84	Temps de réaction et de freinage nécessaire est trop court
85	Conducteur fait une erreur de conduite
86	Autobus a un problème mécanique

87	Autobus se déplace trop rapidement pour les conditions de la route
88	Conducteur n'est pas attentif
89	Conducteur évalue mal la situation
90	Conducteur choisit de prendre le risque
91	Conducteur manque de connaissances
92	Conducteur manque d'expérience
93	Attention du conducteur est détournée
94	Attention du conducteur est diminuée
95	Conducteur est stressé
96	Conducteur est fatigué
97	Conducteur oublie de vérifier
98	Conducteur ne considère pas requis de vérifier
99	Conducteur est certain d'avoir bien suivi le déplacement des enfants
100	Enfant traverse la trajectoire à un endroit inhabituel
101	Enfant ne connaît pas les règles de sécurité
102	Enfant ne respecte pas les règles de sécurité
103	Enfant oublie ou ne connaît pas les règles
104	Enfant n'a pas conscience du danger
105	Enfant prend volontairement un risque
106	Conducteur détourne le regard
107	Enfant n'est pas dans le champ de vision du conducteur
108	Enfant et le nouveau point de mire sont vus par deux miroirs différents
109	Enfant et le nouveau point de mire sont éloignés
110	Événement attire l'attention du conducteur
111	Conducteur doit faire une vérification
112	Conducteur doit rétablir et réintégrer la circulation
113	Conducteur doit s'assurer que personne n'est en danger
114	Conducteur doit s'assurer que les enfants sont bien assis dans l'autobus

ANNEXE C

Probabilité des évènements indésirables

Probabilité des évènements indésirables

Numéro	Niveau précédent (%)			
	Perception du risque des conducteurs & (.) écart type	Analyse des dossiers d'accidents	Synthèse	Événement sommet (%)
1	-	-	-	-
2			100	100
3			100	100
4	21(21,38)	54	50	50
5	54(25,15)	13	20	20
6	26(21,07)	33	30	30
7	51(25,90)	87	80	80
8	49(25,90)	13	20	20
9	81(25,33)	90	85	68
10	19(24,33)	10	15	12
11			100	68
12			100	68
13			100	68
14			100	50
15			100	50
16			100	50
17	8(5,10)	0	5	2,5
18	63(26,22)	58	80	40
19	30(25,65)	15	15	7,5
20			100	20
21			100	20
22	31(17,81)	20	20	6
23	16(19,65)	20	15	4,5
24	29(16,39)	50	45	13,5
25	23(15,41)	10	20	6
26			100	4,5
27			100	4,5
28			100	4,5
29			100	6
30			100	6
31			100	13,5
32			100	13,5
33			100	13,5
34	43(24,08)		40	27
35	32(17,72)		30	20,5
36	28(14,11)		30	20,5
37	38(17,95)		35	9,5
38	63(17,95)		65	18
39	43(26,87)		35	7

Numéro	Niveau précédent (%)			
	Perception du risque des conducteurs & (.) écart type	Analyse des dossiers d'accidents	Synthèse	Événement sommet (%)
40	58(26,87)		65	13,5
41	66(21,09)		65	6
42	34(21,09)		35	3,5
43	58(21,55)		60	8
44	42(21,55)		40	5,5
45	58(18,99)		60	5
46	30(18,65)		30	2,5
47	13(12,36)		10	1
48	50(15,99)		50	10
49	50(15,99)		50	10
50	24(16,85)		25	17
51	10(3,65)		10	7
52	24(12,31)		20	14
53	15(10,28)		15	10
54	27(16,72)		30	20
55			100	17
56			100	17
57	52(18,77)		55	8
58	48(18,77)		45	6
59	63(14,77)		65	5
60	37(14,77)		35	3
61	60(18,55)		60	3,5
62	13(8,02)		15	1
63	28(13,97)		25	1,5
64			100	5
65			100	5
66	48(24,24)		45	1,5
67	52(24,24)		55	2
68			100	2
69			100	2
70	61(18,44)		65	1,25
71	39(18,44)		35	0,75
72			100	12
73			100	12
74			100	12
75	42(34,07)		45	5,5
76	39(28,68)		40	5
77	19(12,00)		15	2
78			100	5
79	46(28,95)		45	5,5
80	27(16,83)		25	3

Numéro	Niveau précédent (%)			
	Perception du risque des conducteurs & (.) écart type	Analyse des dossiers d'accidents	Synthèse	Événement sommet (%)
81	30(24,53)		30	4
82			100	5,5
83			100	5,5
84	50(16,23)		50	10
85	38(18,84)		40	8
86	20(29,31)		10	2
87	59(16,85)		60	5
88	41(16,85)		40	3
89	53(15,64)		50	2,5
90	47(15,64)		50	2,5
91	47(14,94)		50	1,25
92	53(14,94)		50	1,25
93	60(12,40)		60	2
94	40(12,40)		40	1
95	64(15,17)		60	0,6
96	35(15,69)		40	0,4
97	24(10,89)		30	3
98	76(10,89)		70	7
99	40(25,12)		40	3
100	60(25,12)		60	4
101			100	4
102			100	4
103	33(10,84)		35	1,4
104	43(13,31)		40	1,6
105	24(14,93)		25	1
106			100	20
107			100	20
108	45(16,53)		50	10
109	55(16,53)		50	10
110	41(14,47)		40	8
111	59(14,47)		60	12
112	32(14,90)		30	3,5
113	37(11,70)		40	5
114	31(20,40)		30	3,5

ANNEXE D

Grille d'évaluation

Grille d'évaluation

Répondre aux questions en inscrivant un «X» dans les cases blanches appropriées de la colonne identifiée par un «X».

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
A	**SÉCURITÉ**	**100**			**50,0**	**50 %**
1	**Impact du dispositif de sécurité (l'évaluateur doit répondre aux points 1.1, 1.2 et 1.3)**	100				
1.1	Le dispositif empêche l'enfant de passer sous les roues de l'autobus.	*100*				
1.2	Le dispositif empêche l'enfant de se retrouver dans les zones dangereuses. (voir dessin ci-joint)	*100*				
1.3	Le dispositif détecte ou aide le conducteur à détecter la présence d'un enfant dans les zones dangereuses.	*95*				
1.3.1	Le dispositif détecte la présence d'un enfant dans les zones dangereuses.	95				
1.3.1.1	Est-ce que le dispositif détecte la présence d'un enfant immobile?	45				
	Oui	100				
	Non					
1.3.1.2	Est-ce que le dispositif détecte la présence d'un enfant en mouvement?	35				
	Oui	100				
	Non					
1.3.1.3	Est-ce que le dispositif fait la différence entre un objet et un enfant?	15				
	Oui	100				
	Non					
1.3.2	Le dispositif aide le conducteur à détecter la présence d'un enfant dans les zones dangereuses.	70				
1.3.2.1	Est-ce que le dispositif amplifie l'image d'un enfant dans les zones dangereuses?	15				
	Oui	100				
	Non					
1.3.2.2	Est-ce que le dispositif améliore la vision du conducteur dans les zones dangereuses?	70				

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
1.3.2.2.1	Améliore-t-il les contrastes? Si oui, comment?	8				
	Améliore la luminosité	*5*				
	Évite les éblouissements	*3*				
1.3.2.2.2	Améliore-t-il la clarté de la vision? Si oui, comment?	7				
	Élimine ou diminue suffisamment les effets des intempéries sur la visibilité	*4*				
	Améliore la clarté de l'image réfléchie par les miroirs	*1*				
	Permet aux miroirs et fenêtres de rester propres et exempts de buée, givre, glace ou autres	*2*				
1.3.2.2.3	Permet-il de concentrer l'attention du conducteur sur la zone où se trouve l'enfant? Si oui, comment?	30				
	Oblige ou rappelle au conducteur de porter attention à toutes les zones potentiellement dangereuses	*17*				
	Limite le nombre de points de vues nécessaires aux vérifications d'usage	*13*				
1.3.2.2.4	Aide-t-il le conducteur à percevoir les signaux provenant de personnes témoins de la scène? Si oui, comment?	40				
	Amplifie le signal	*20*				
	Rend le signal plus distinctif	*20*				
1.3.2.3	Est-ce que le dispositif fait la différence entre un enfant et un objet?	15				
	Oui	100				
	Non					
2	**Champ d'action du dispositif autour de l'autobus?**	**100**				
	Quelle est la proportion des zones dangereuses couvertes par le dispositif? (voir concept ci-joint)	100				
2.1	À l'avant	*72*				
	Toute	100				
	La grande majorité	75				
	La moitié	50				
	Un peu	25				
	Très peu					

		Pointage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
2.2	Sur les côtés	*24*				
	Toute	100				
	La grande majorité	75				
	La moitié	50				
	Un peu	25				
	Très peu					
2.3	À l'arrière	*4*				
	Toute	100				
	La grande majorité	75				
	La moitié	50				
	Un peu	25				
	Très peu					
3	**Temps de protection ou de détection du dispositif?**	**100**				
3.1	Le dispositif débute son état de protection ou de détection lorsque :	*60*				
	L'autobus ralentit avant de s'arrêter	100				
	L'autobus s'arrête	90				
	L'autobus se remet en marche	80				
3.2	Le dispositif termine son état de protection ou de détection lorsque :	*40*				
	L'autobus circule à une certaine vitesse	100				
4	**Est-ce que le dispositif possède une mémoire pour enregistrer les évènements?**					
	Oui					
	Non					
5	**Quel est le temps d'action du dispositif?**					
	Moins de 10 millisecondes					
	Entre 10 millisecondes et 1 seconde					
	Entre 1 seconde et 2 secondes					
	Plus de 2 secondes					
6	**Est-ce que le dispositif émet des ondes/radiations dangereuses?**					
	Oui					
	Non					
7	**Est-ce que le dispositif fait une auto-vérification de ses composantes de base?**					
	Oui					
	Non					

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
8	**Est-ce que le dispositif émet un signal sonore externe avertissant aussi l'enfant?**					
	Oui					
	Non					
B	**ERGONOMIE**	**100**			**10,0**	**40 %**
9	**Le dispositif a-t-il un impact sur la tâche du conducteur? Si oui, ...**	50				
	Non	100				
9.1	Peut-il nuire au conducteur dans l'exécution de sa tâche? Si oui, ...	*60*				
	Non	100				
9.1.1	Peut-il nuire à la liberté de mouvement du conducteur?	25				
	Jamais	100				
	Rarement	75				
	Régulièrement	50				
	Très souvent	25				
	Toujours					
9.1.2	Peut-il nuire à l'accessibilité des commandes de l'autobus?	25				
	Jamais	100				
	Rarement	75				
	Régulièrement	50				
	Très souvent	25				
	Toujours					
9.1.3	Peut-il faire interférence au bon fonctionnement des équipements de l'autobus?	25				
	Jamais	100				
	Rarement	75				
	Régulièrement	50				
	Très souvent	25				
	Toujours					
9.1.4	Peut-il obstruer la vision du conducteur?	25				
	Pas du tout	100				
	Un peu	75				
	Moyennement	50				
	Beaucoup	25				
	Complètement					
9.2	Le dispositif ajoute-t-il à la tâche du conducteur? Si oui, ...	*40*				
	Non	100				

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
9.2.1	De quelle nature sont les exigences?	70				
9.2.1.1	Exigences mentales? Si oui, …	45				
	Non	100				
9.2.1.1.1	À combien évaluez-vous le nombre d'opérations nécessaires à son utilisation?	20				
	Aucune ou très peu	*100*				
	Peu	*75*				
	Moyennement	*50*				
	Assez	*25*				
	Beaucoup					
9.2.1.1.2	Les commandes ou informations transmises par le dispositif peuvent-elles porter à confusion?	20				
	Jamais	*100*				
	Rarement	*75*				
	Parfois	*50*				
	Souvent	*25*				
	Toujours					
9.2.1.1.3	Requiert-il des connaissances ou habiletés mentales particulières?	20				
	Aucune ou très peu	*100*				
	Peu	*75*				
	Moyennement	*50*				
	Assez	*25*				
	Beaucoup					
9.2.1.1.4	Nécessite-t-il une formation ou un apprentissage? Si oui, quelle est la durée de cette formation?	20				
	Aucune	*100*				
	Courte	*75*				
	Moyenne	*50*				
	Longue	*25*				
	Très longue					
9.2.1.1.5	S'opère-t-il facilement en situation de stress ou de fatigue du conducteur?	20				
	Très facilement	*100*				
	Assez facilement	*50*				
	Difficilement					
9.2.1.2	Exigences sensorielles? Si oui, sont-elles…	40				
	Non	100				

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
9.2.1.2.1	Visuelles? Si oui, …	60				
	Non	*100*				
9.2.1.2.1.1	Quel est le niveau de clarté de l'information visuelle transmise par le dispositif?	*25*				
	Très bon	100				
	Bon	75				
	Passable	50				
	Mauvais	25				
	Très mauvais					
9.2.1.2.1.2	Cette information visuelle peut-elle être obstruée?	*25*				
	Jamais	100				
	À l'occasion	75				
	Régulièrement	50				
	Très souvent	25				
	Toujours					
9.2.1.2.1.3	Le dispositif est-il dans le champ visuel de confort du conducteur?	*25*				
	Oui	100				
	Non					
9.2.1.2.1.4	Quelle est la durée de l'exigence visuelle imposée par le dispositif?	*25*				
	Très courte	100				
	Courte	75				
	Moyenne	50				
	Longue	25				
	Très longue					
9.2.1.2.2	Exigences auditives? Si oui, …	30				
	Non	*100*				
9.2.1.2.2.1	Comment qualifieriez-vous la portée de l'information sonore transmise par le dispositif?	*50*				
	Parfaite	100				
	Bonne	75				
	Passable	50				
	Mauvaise	25				
	Inacceptable					

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
9.2.1.2.2.2	L'information sonore est-elle suffisamment significative pour se distinguer des sons environnants?	*50*				
	Très	100				
	Assez	75				
	Passablement	50				
	Peu	25				
	Pas du tout					
9.2.1.2.3	Exigences tactiles? Si oui, …	*10*				
	Non	100				
9.2.1.2.3.1	Quel est le type de sensibilité tactile exigé?	*100*				
	Grossier	100				
	Moyen	50				
	Fin					
9.2.1.3	Exigences physiques? Si oui, …	15				
	Non	100				
9.2.1.3.1	Combien de membres sont sollicités lors de l'utilisation du dispositif?	*25*				
	1	100				
	Plus de 1					
9.2.1.3.2	Le dispositif affecte-t-il le niveau de confort postural du conducteur quel que soit son anthropométrie?	*25*				
	Pas du tout	100				
	Un peu	75				
	Moyennement	50				
	Assez	25				
	Beaucoup					
9.2.1.3.3	Quel est le niveau de dextérité et de précision exigé?	*25*				
	Grossier	100				
	Moyen	50				
	Fin					
9.2.1.3.4	Quel est le niveau d'effort exigé pour un conducteur moyen?	*25*				
	Faible	100				
	Moyen	50				
	Élevé					
9.2.2	À quel moment le dispositif exige-t-il que cette activité supplémentaire soit exécutée?	30				

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
9.2.2.1	À l'approche?	20				
	Oui	100				
	Non					
9.2.2.2	À l'embarquement ou au débarquement? Si oui, …	50				
	Lors de la préparation de l'embarquement/débarquement	25				
	Lors du contrôle de l'embarquement/débarquement	35				
	Lors de la préparation du départ	40				
9.2.2.3	Au départ?	30				
	Oui	100				
	Non					
10	**Décrivez la qualité de l'interface dispositif-enfants**	**40**				
10.1	Quel est le niveau d'adaptation du dispositif aux caractéristiques des enfants?	*60*				
10.1.1	Convient-il aux enfants de petites statures?	20				
	Oui	100				
	Non					
10.1.2	La posture de l'enfant (penché, à genou, à plat ventre) a-t-elle une influence sur l'efficacité du dispositif?	20				
	Non	100				
	Oui					
10.1.3	Convient-il aux vitesses de déplacement de l'enfant?	20				
	Oui	100				
	Non					
10.1.4	Peut-il être contourné ou déjoué par l'enfant?	20				
	Jamais	100				
	Difficilement	75				
	Probablement	50				
	Facilement	25				
	Très facilement					
10.1.5	Oblige-t-il les enfants à suivre une consigne particulière? Si oui, …	20				
	Non	100				

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
10.1.5.1	Est-elle claire et adaptée au niveau d'apprentissage de tous les enfants?	50				
	Très bien	100				
	Assez bien	75				
	Passablement bien	50				
	Mal	25				
	Très mal					
10.1.5.2	La consigne peut-elle être facilement oubliée ou non respectée par les enfants?	50				
	Très difficilement	100				
	Difficilement	75				
	Moyennement	50				
	Facilement	25				
	Très facilement					
10.2	Le dispositif représente-t-il un risque pour les enfants? Si oui, …	*40*				
	Non	100				
10.2.1	L'enfant peut-il se blesser (couper, heurter, égratigner, etc.) ou être blessé sur ou par le dispositif?	25				
	Impossible	100				
	Peu probable	75				
	Probable	50				
	Très probable	25				
	Inévitable					
10.2.2	Le dispositif peut-il encourager certains comportements à risque chez les enfants?	25				
	Impossible	100				
	Peu probable	75				
	Probable	50				
	Très probable	25				
	Inévitable					
10.2.3	Est-il accrochant pour les enfants?	25				
	Pas du tout	100				
	Un peu	50				
	Assez					
10.2.4	Peut-il faire perdre l'équilibre, chuter ou glisser un enfant?	25				
	Pas du tout	100				
	Un peu	50				
	Assez					

		Pointage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
11	**Autres aspects ergonomiques**	**10**				
11.1	Le dispositif est-il susceptible de produire des fausses alarmes? Si oui, …	*80*				
	Non	100				
11.1.1	Quelle est la fréquence appréhendée des fausses alarmes produites par le dispositif?	50				
	Nulle	100				
	Faible	75				
	Moyenne	50				
	Élevée	25				
	Très élevée					
11.1.2	Quel est le niveau de contrariété (agacement, irritation) des fausses alarmes produit par le dispositif?	50				
	Nul	100				
	Faible	75				
	Moyen	50				
	Élevé	25				
	Très élevé					
11.2	Le fonctionnement du dispositif est-il susceptible de produire un bruit involontaire? Si oui, …	*20*				
	Non	100				
11.2.1	Quel est le niveau sonore du bruit involontaire?	50				
	Nul	100				
	Faible	75				
	Moyen	50				
	Élevé	25				
	Très élevé					
11.2.2	Quel est le niveau de contrariété (agacement, irritation) du bruit involontaire?	50				
	Nul	100				
	Faible	75				
	Moyen	50				
	Élevé	25				
	Très élevé					

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
C	**ÉCONOMIE ET AUTRES FACTEURS**	**100**				**10%**
12	**Quel est le coût du dispositif?**	35				
12.1	Coût d'acquisition en dollars?	*20*				
	0-500	100				
	501-1 000	75				
	1 001-2 000	50				
	> 2 001	25				
12.2	Coût d'entretien?	*20*				
	Aucun	100				
12.3	Coût d'installation?	*20*				
	1 heure par autobus	100				
	2 heures par autobus	75				
	3 heures par autobus	50				
	4 heures et plus	25				
12.4	Coût d'opération (ralentissement des activités de transport scolaire)?	*20*				
	Aucun	100				
12.5	Coût de formation?	*20*				
	1 heure par groupe de 10 et plus	100				
	2 heures par groupe de 10 et plus	75				
	3 heures par groupe de 10 et plus	50				
	4 heures et plus par groupe de 10 et plus	25				
13	**Cycle de fiabilité des composantes du système?**	35				
	Le cycle de fiabilité des composantes du système est connu	100				
	Le cycle de fiabilité des composantes du système n'est pas connu					
14	**Est-ce que le système est garanti?**	20				
	À vie sur le véhicule original	100				
	10 ans	75				
	5 ans	50				
	1 an	25				
	Aucune garantie					
15	**Autre facteur :**	10				
	Est-ce que le dispositif opère sans faire de bruit excessif à l'extérieur?	10				
	Oui	100				
	Non					
	Résultat final					

ANNEXE E

Critères de base – évaluation en laboratoire

Critères de base – évaluation en laboratoire

- **Physique de base :** C'est un critère très important du fait qu'il peut nous indiquer si cette technologie répond aux exigences de notre application ou pas. Par exemple, les capteurs par effet capacitif et par peau sensible et à cause de leur physique de base semblent ne pas répondre aux exigences et aux conditions d'application pour autobus scolaire parce que leur portée est trop faible.

- **Nature de l'information :** Il faut déterminer s'il s'agit d'un signal électrique, mécanique, thermique, etc. Le traitement de la mesure dépend de la nature du signal.

- **Type de mesure statique ou dynamique :** Certains détecteurs nécessitent que l'objet à détecter soit en mouvement. Alors que d'autres exigent que l'objet soit stationnaire. Par exemple, le capteur micro-ondes à effet Doppler, comme celui utilisé par le système ForeWarn, ne peut détecter que les objets en mouvement. En-dessous d'une certaine limite inférieure de vitesse, le détecteur micro-onde ne signale pas la présence d'aucun objet.

- **Champ de vision et portée :** Le volume de détection est essentiel pour un système de sécurité. En effet, il est primordial que le champ de vision et la portée du détecteur offrent au conducteur un temps supplémentaire afin d'éviter les collisions. Dans ce sens, les capteurs tactiles seuls ne sont pas convenables pour l'application en enfant, adulte).

- **Angle mort et zone aveugle :** Un système de sécurité ne doit pas posséder d'angles morts ou de zones aveugles dans les zones dangereuses. Une zone aveugle est une période (ou distance) dans laquelle le système n'est pas conscient de ce qui se passe autour de lui. Par exemple, pour un détecteur à ultrasons, du type émetteur/récepteur intégré, une zone aveugle s'installe. Elle est de l'ordre de 15 cm. Dans cette plage de 0-15 cm, aucun objet n'est détecté. Ce qui représente un danger dans le cas du transport scolaire.

- **Précision et résolution :** La précision n'est pas un facteur très important pour l'application en cours. En effet, la fiabilité de la détection d'un piéton est beaucoup importante que la précision de la localisation dans la zone dangereuse. Une précision de quelques centimètres est suffisante. Cependant, dans d'autres applications, telles que la robotique, il est indispensable d'avoir un détecteur de grande précision.

- **Capacité de liaison des données :** Un détecteur doit produire des données qui seront faciles à traiter et à transférer de l'unité d'acquisition à l'unité de traitement. Les

signaux de très faibles niveaux seront très sensibles aux bruits extérieurs et ceux issus de l'autobus, ce qui pourrait erroné les mesures.

- **Temps de mesure :** Certains détecteurs représentent des caractéristiques très lentes au niveau de l'acquisition de données. En effet, dans l'application en cours, il est essentiel d'avoir accès à la mesure dans un temps le plus court possible pour que le système analyse l'information et présente une alarme dans un temps négligeable.

- **Robustesse :** Un capteur doit être assez robuste pour résister aux intempéries, aux vibrations et aux effets des chocs et des manipulations. Certains types de détecteurs sont fragiles et ne peuvent être utilisés dans un environnement hostile.

- **Complexité :** Un système de sécurité ne doit être compliqué. Il doit utiliser des détecteurs de bas niveaux de complexité afin d'éviter que la fiabilité du système soit fortement distribuée. Plus le système est simple, plus le système de sécurité est facile à entretenir et maintenir.

- **Dimensions et poids :** Il est très important que le système de sécurité ne provoque un encombrement au niveau de l'autobus. Il doit être le plus possible compact et léger pour être facilement installé et protégé des éléments ou des impacts accidentels.

- **Durée de vie et fiabilité :** La durée de vie d'un système est un critère très important pour la prise de décision lors du choix. Une durée de vie la plus longue est très favorable. La fiabilité de la mesure signifie que le système doit toujours détecter l'objet dans sa ligne de tir.

- **Effet des variations des conditions atmosphériques :** Vu que le système à implanter doit opérer dans un environnement réel, très rigoureux, il est indispensable qu'il soit le plus possible insensible aux variations de la température, de l'ensoleillement et de l'éclairage, des impuretés, de la neige, de la pluie, de la brume et du bruit issu des autres circuits électriques ou du moteur. Par exemple, le laser se trouve affecté par la brume dense et par la pluie forte.

- **Impact sur la santé (piétons, écoliers) :** Un système de sécurité doit aider à être capable de détecter des personnes dans la zone dangereuse et de les protéger dans le cas de collisions. Cependant, ce système ne doit en aucun cas provoquer des effets secondaires tels que la brûlure de la peau, des dommages aux yeux... Par exemple, le laser peut causer des effets secondaires sur la santé, il faut donc l'éviter bien qu'il

présente des caractéristiques de détection plus intéressantes que l'ultrason; cependant, ce dernier ne présente aucun danger.

- **Efficacité et taux de faux déclenchements :** Un système de sécurité pour autobus scolaire, ne doit se déclencher que lorsqu'un danger potentiel se produit. Un système avec un grand nombre de faux déclenchements peut déranger le conducteur et même les passagers.

Critères d'évaluation des technologies de traitement : Les critères d'évaluation des technologies de traitement diffèrent de ceux des technologies de détection. Les principaux critères qui s'imposent sont :

- **Technique d'interprétation de l'information :** Le temps d'interprétation dépend de la technique utilisée, celle-ci devra être assez rapide pour la tâche à exécuter.

- **Degré d'intelligence du traitement :** Il y a des traitements qui utilisent des concepts très avancés de l'intelligence artificielle et d'autres traitements qui représentent des niveaux simples et élémentaires. Ces concepts dépendent du traitement à effectuer.

- **Temps réel :** Un système de sécurité doit opérer en temps réel pour qu'une action (manuelle ou automatique) soit prise au bon moment avant que la collision ne se produise. Dans ce sens, le temps nécessaire par les algorithmes de traitement doit être le plus court possible pour garantir un fonctionnement en temps réel.

- **Implantation :** L'implantation de ces algorithmes ne doit pas nécessiter des mémoires et des calculateurs de haute gamme. Le coût du système se trouve corrélé avec le type de processeur utilisé.

- **Activation/Désactivation – manuelle ou automatique :** Évaluer la procédure d'activation et de désactivation du système et sa dépendance de l'erreur humaine. La majeure partie des systèmes de sécurité proposés sont activés et désactivés avec l'ouverture et la fermeture de la porte. Il est aussi possible de l'activer en fonction de sa vitesse et de son sens d'évolution.

Les tableaux suivants résument les résultats d'essais en laboratoire effectués par M. Dubé de l'Université du Québec à Trois-Rivières montrant les caractéristiques des différentes technologies de détection alors soumises à ces essais. Des indices d'évaluation qualitative sont établis selon l'échelle suivante : très faible, faible, bon, très bon, élevé, très élevé. Tous les critères doivent être élevés à l'exception du coût et des dimensions.

	Caméras et capteurs IR passifs	Télémètres et imageurs à laser	Radars	Télémètres ultrasoniques
Actif/Passif	passif	actif	actif	actif
Avec/Sans contact	sans	sans	sans	sans
Mesure	variation de température	distance	distance	distance
Principe de la mesure	détection des ondes IR émises par le corps	temps de vol, modulation AM	temps de vol, plusieurs formes de modulation, effet Doppler	temps de vol
Pleine échelle	toutes les températures	mètres à kilomètres	mètres à kilomètres	centimètres à dizaine de mètres
Précision et résolution	faible à très élevée	très élevée	bonne à élevée	faible
Fréquence d'acquisition	très élevée	très élevée	très élevée	faible
Fiabilité	faible : fausses alarmes	dépend des traitements subséquents	dépend des traitements subséquents	faible à bonne
Résistance mécanique	faible à bonne	faible à bonne	bonne	très bonne
Insensibilité aux variations du milieu	faible	faible	très élevée	bonne
Coût	faible à élevé	élevé	très élevé	très faible
Dimensions	faibles	faibles	élevées	faibles

	Détecteurs de proximité	Pare-chocs flexibles	Vision 2D	Vision 3D
Actif/Passif	passif et actif	passif	passif	actif et passif
Avec/Sans contact	sans	avec	sans	sans
Mesure	présence	présence	luminosité	présence
Principe de la mesure	effet Hall, magnétisme	contact mécanique	imagerie	imagerie, triangulation
Pleine échelle	portée : millimètres à centimètres	–	–	distance : dizaines de mètres
Précision et résolution	faible à très élevée	–	bonne à élevée	bonne à élevée
Fréquence d'acquisition	très élevée	élevée	faible à élevée	très faible à élevée
Fiabilité	élevée	élevée	dépend des traitements subséquents	dépend des traitements subséquents
Résistance mécanique	très bonne	très bonne	bonne	faible à bonne
Insensibilité aux variations du milieu	faible à bonne	très élevée	faible	faible
Coût	très faible à élevé	très faible	faible	élevé à très élevé
Dimensions	faibles	très élevées	faibles	faibles à élevées

Source : Dubé, Y. & Kaffel, M., *Systèmes de sécurité pour autobus scolaire*, Ministère des Transports du Québec, 1996.

ANNEXE F

Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation – Dispositif mécanique : le bras d'éloignement

Vérification de la fonctionnalité de la version électronique de la grille d'évaluation – Dispositif mécanique : le bras d'éloignement

Spécification :

- Bras à l'avant de l'autobus scolaire seulement
- Bras ouvert quand l'autobus s'arrête
- Bras se referme quand l'autobus repart

Répondre aux questions en inscrivant un «X» dans les cases blanches appropriées de la colonne identifiée par un «X».

		Pointage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
A	**SÉCURITÉ**	**100**		**72,0**	**86,0**	**50 %**
1	**Impact du dispositif de sécurité (l'évaluateur doit répondre aux points 1.1, 1.2 et 1.3)**	100		100,0		
1.1	Le dispositif empêche l'enfant de passer sous les roues de l'autobus.	*100*				
1.2	Le dispositif empêche l'enfant de se retrouver dans les zones dangereuses. (voir dessin ci-joint)	*100*	x	100,0		
1.3	Le dispositif détecte ou aide le conducteur à détecter la présence d'un enfant dans les zones dangereuses.	*95*				
1.3.1	Le dispositif détecte la présence d'un enfant dans les zones dangereuses.	95				
1.3.1.1	Est-ce que le dispositif détecte la présence d'un enfant immobile?	45				
	Oui	100				
	Non		x			
1.3.1.2	Est-ce que le dispositif détecte la présence d'un enfant en mouvement?	35				
	Oui	100				
	Non		x			
1.3.1.3	Est-ce que le dispositif fait la différence entre un objet et un enfant?	15				
	Oui	100				
	Non		x			

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
1.3.2	Le dispositif aide le conducteur à détecter la présence d'un enfant dans les zones dangereuses.	70				
1.3.2.1	Est-ce que le dispositif amplifie l'image d'un enfant dans les zones dangereuses?	15				
	Oui	100				
	Non		x			
1.3.2.2	Est-ce que le dispositif améliore la vision du conducteur dans les zones dangereuses?	70				
1.3.2.2.1	Améliore-t-il les contrastes? Si oui, comment?	8				
	Améliore [illegible]nosité	*5*				
	Évite les éb[illegible]ements	*3*				
1.3.2.2.2	Améliore-t-il la clarté de la vis[illegible] Si oui, comment?	7				
	Élimine ou diminue suffisamment les effets des intempéries sur la visibilité	*4*				
	Améliore la clarté de l'image réfléchie par les miroirs	*1*				
	Permet aux miroirs et fenêtres de rester propres et exempts de buée, givre, glace ou autres	*2*				
1.3.2.2.3	Permet-il de concentrer l'attention du conducteur sur la zone où se trouve l'enfant? Si oui, comment?	30				
	Oblige ou rappelle au conducteur de porter attention à toutes les zones potentiellement dangereuses	*17*				
	Limite le nombre de points de vues nécessaires aux vérifications d'usage	*13*				
1.3.2.2.4	Aide-t-il le conducteur à percevoir les signaux provenant de personnes témoins de la scène? Si oui, comment?	40				
	Amplifie le signal	*20*				
	Rend le signal plus distinctif	*20*				
1.3.2.3	Est-ce que le dispositif fait la différence entre un enfant et un objet?	15				
	Oui	100				
	Non		x			

		Pointage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
2	**Champ d'action du dispositif autour de l'autobus?**	**100**		72,0		
	Quelle est la proportion des zones dangereuses couvertes par le dispositif? (voir concept ci-joint)	100		72,0		
2.1	À l'avant	*72*		72,0		
	Toute	100	x	100,0		
	La grande majorité	75				
	La moitié	50				
	Un peu	25				
	Très peu					
2.2	Sur les côtés	*24*				
	Toute	100				
	La grande majorité	75				
	La moitié	50				
	Un peu	25				
	Très peu		x			
2.3	À l'arrière	*4*				
	Toute	100				
	La grande majorité	75				
	La moitié	50				
	Un peu	25				
	Très peu		x			
3	**Temps de protection ou de détection du dispositif?**	**100**		100,0		
3.1	Le dispositif débute son état de protection ou de détection lorsque :	*60*		60,0		
	L'autobus ralentit avant de s'arrêter	100	x	100,0		
	L'autobus s'arrête	90				
	L'autobus se remet en marche	80				
3.2	Le dispositif termine son état de protection ou de détection lorsque :	*40*		40,0		
	L'autobus circule à une certaine vitesse	100	x	100,0		
4	**Est-ce que le dispositif possède une mémoire pour enregistrer les évènements?**					
	Oui					
	Non		x			

		Pointage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
5	**Quel est le temps d'action du dispositif?**					
	Moins de 10 millisecondes					
	Entre 10 millisecondes et 1 seconde		x			
	Entre 1 seconde et 2 secondes					
	Plus de 2 secondes					
6	**Est-ce que le dispositif émet des ondes/radiations dangereuses?**					
	Oui					
	Non		x			
7	**Est-ce que le dispositif fait une auto-vérification de ses composantes de base?**					
	Oui					
	Non		x			
8	**Est-ce que le dispositif émet un signal sonore externe avertissant aussi l'enfant?**					
	Oui					
	Non		x			
B	**ERGONOMIE**	**100**		**85,2**	**80,1**	**40 %**
9	**Le dispositif a-t-il un impact sur la tâche du conducteur? Si oui, ...**	50		47,2		
	Non	100				
9.1	Peut-il nuire au conducteur dans l'exécution de sa tâche? Si oui, ...	*60*		60,0		
	Non	100	x	100,0		
9.1.1	Peut-il nuire à la liberté de mouvement du conducteur?	25		25,0		
	Jamais	100	x	100,0		
	Rarement	75				
	Régulièrement	50				
	Très souvent	25				
	Toujours					
9.1.2	Peut-il nuire à l'accessibilité des commandes de l'autobus?	25		25,0		
	Jamais	100	x	100,0		
	Rarement	75				
	Régulièrement	50				
	Très souvent	25				
	Toujours					

		Pointage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
9.1.3	Peut-il faire interférence au bon fonctionnement des équipements de l'autobus?	25		25,0		
	Jamais	100	x	100,0		
	Rarement	75				
	Régulièrement	50				
	Très souvent	25				
	Toujours					
9.1.4	Peut-il obstruer la vision du conducteur?	25		25,0		
	Pas du tout	100	x	100,0		
	Un peu	75				
	Moyennement	50				
	Beaucoup	25				
	Complètement					
9.2	Le dispositif ajoute-t-il à la tâche du conducteur? Si oui, …	40		34,5		
	Non	100				
9.2.1	De quelle nature sont les exigences?	70		67,4		
9.2.1.1	Exigences mentales? Si oui, …	45		45,0		
	Non	100				
9.2.1.1.1	À combien évaluez-vous le nombre d'opérations nécessaires à son utilisation?	20		20,0		
	Aucune ou très peu	100	x	100,0		
	Peu	75				
	Moyennement	50				
	Assez	25				
	Beaucoup					
9.2.1.1.2	Les commandes ou informations transmises par le dispositif peuvent-elles porter à confusion?	20		20,0		
	Jamais	100	x	100,0		
	Rarement	75				
	Parfois	50				
	Souvent	25				
	Toujours					
9.2.1.1.3	Requiert-il des connaissances ou habiletés mentales particulières?	20		20,0		
	Aucune ou très peu	100	x	100,0		
	Peu	75				
	Moyennement	50				
	Assez	25				
	Beaucoup					

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
9.2.1.1.4	Nécessite-t-il une formation ou un apprentissage? Si oui, quelle est la durée de cette formation?	20		20,0		
	Aucune	*100*	x	100,0		
	Courte	*75*				
	Moyenne	*50*				
	Longue	*25*				
	Très longue					
9.2.1.1.5	S'opère-t-il facilement en situation de stress ou de fatigue du conducteur?	20		20,0		
	Très facilement	*100*	x	100,0		
	Assez facilement	*50*				
	Difficilement					
9.2.1.2	Exigences sensorielles? Si oui, sont-elles…	40		40,0		
	Non	100	x	100,0		
9.2.1.2.1	Visuelles? Si oui, …	60		37,5		
	Non	*100*				
9.2.1.2.1.1	Quel est le niveau de clarté de l'information visuelle transmise par le dispositif?	*25*		25,0		
	Très bon	100	x	100,0		
	Bon	75				
	Passable	50				
	Mauvais	25				
	Très mauvais					
9.2.1.2.1.2	Cette information visuelle peut-elle être obstruée?	*25*		25,0		
	Jamais	100	x	100,0		
	À l'occasion	75				
	Régulièrement	50				
	Très souvent	25				
	Toujours					
9.2.1.2.1.3	Le dispositif est-il dans le champ visuel de confort du conducteur?	*25*				
	Oui	100				
	Non		x			

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
9.2.1.2.1.4	Quelle est la durée de l'exigence visuelle imposée par le dispositif?	*25*		12,5		
	Très courte	100				
	Courte	75				
	Moyenne	50	x	50,0		
	Longue	25				
	Très longue					
9.2.1.2.2	Exigences auditives? Si oui, …	30				
	Non	*100*	x	100,0		
9.2.1.2.2.1	Comment qualifieriez-vous la portée de l'information sonore transmise par le dispositif?	*50*				
	Parfaite	100				
	Bonne	75				
	Passable	50				
	Mauvaise	25				
	Inacceptable					
9.2.1.2.2.2	L'information sonore est-elle suffisamment significative pour se distinguer des sons environnants?	*50*				
	Très	100				
	Assez	75				
	Passablement	50				
	Peu	25				
	Pas du tout					
9.2.1.2.3	Exigences tactiles? Si oui, …	*10*				
	Non	100	x	100,0		
9.2.1.2.3.1	Quel est le type de sensibilité tactile exigé?	*100*				
	Grossier	100				
	Moyen	50				
	Fin					
9.2.1.3	Exigences physiques? Si oui, …	15		11,3		
	Non	100	x	100,0		
9.2.1.3.1	Combien de membres sont sollicités lors de l'utilisation du dispositif?	*25*				
	1	100				
	Plus de 1					

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
9.2.1.3.2	Le dispositif affecte-t-il le niveau de confort postural du conducteur quel que soit son anthropométrie?	*25*		25,0		
	Pas du tout	100	x	100,0		
	Un peu	75				
	Moyennement	50				
	Assez	25				
	Beaucoup					
9.2.1.3.3	Quel est le niveau de dextérité et de précision exigé?	*25*		25,0		
	Grossier	100	x	100,0		
	Moyen	50				
	Fin					
9.2.1.3.4	Quel est le niveau d'effort exigé pour un conducteur moyen?	*25*		25,0		
	Faible	100	x	100,0		
	Moyen	50				
	Élevé					
9.2.2	À quel moment le dispositif exige-t-il que cette activité supplémentaire soit exécutée?	30		18,8		
9.2.2.1	À l'approche?	20		20,0		
	Oui	100	x	100,0		
	Non					
9.2.2.2	À l'embarquement ou au débarquement? Si oui, …	50		12,5		
	Lors de la préparation de l'embarquement/débarquement	25	x	25,0		
	Lors du contrôle de l'embarquement/débarquement	35				
	Lors de la préparation du départ	40				
9.2.2.3	Au départ?	30		30,0		
	Oui	100	x	100,0		
	Non					
10	**Décrivez la qualité de l'interface dispositif-enfants**	**40**		28,0		
10.1	Quel est le niveau d'adaptation du dispositif aux caractéristiques des enfants?	*60*		30,0		
10.1.1	Convient-il aux enfants de petites statures?	20		20,0		
	Oui	100	x	100,0		
	Non					

		Pointage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
10.1.2	La posture de l'enfant (penché, à genou, à plat ventre) a-t-elle une influence sur l'efficacité du dispositif?	20				
	Non	100				
	Oui		x			
10.1.3	Convient-il aux vitesses de déplacement de l'enfant?	20		20,0		
	Oui	100	x	100,0		
	Non					
10.1.4	Peut-il être contourné ou déjoué par l'enfant?	20		10,0		
	Jamais	100				
	Difficilement	75				
	Probablement	50	x	50,0		
	Facilement	25				
	Très facilement					
10.1.5	Oblige-t-il les enfants à suivre une consigne particulière? Si oui, …	20				
	Non	100	x	100,0		
10.1.5.1	Est-elle claire et adaptée au niveau d'apprentissage de tous les enfants?	50				
	Très bien	100				
	Assez bien	75				
	Passablement bien	50				
	Mal	25				
	Très mal					
10.1.5.2	La consigne peut-elle être facilement oubliée ou non respectée par les enfants?	50				
	Très difficilement	100				
	Difficilement	75				
	Moyennement	50				
	Facilement	25				
	Très facilement					
10.2	Le dispositif représente-t-il un risque pour les enfants? Si oui, …	*40*		40,0		
	Non	100	x	100,0		

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
10.2.1	L'enfant peut-il se blesser (couper, heurter, égratigner, etc.) ou être blessé sur ou par le dispositif?	25		18,8		
	Impossible	100				
	Peu probable	75	x	75,0		
	Probable	50				
	Très probable	25				
	Inévitable					
10.2.2	Le dispositif peut-il encourager certains comportements à risque chez les enfants?	25		18,8		
	Impossible	100				
	Peu probable	75	x	75,0		
	Probable	50				
	Très probable	25				
	Inévitable					
10.2.3	Est-il accrochant pour les enfants?	25		12,5		
	Pas du tout	100				
	Un peu	50	x	50,0		
	Assez					
10.2.4	Peut-il faire perdre l'équilibre, chuter ou glisser un enfant?	25		25,0		
	Pas du tout	100	x	100,0		
	Un peu	50				
	Assez					
11	**Autres aspects ergonomiques**	**10**		10,0		
11.1	Le dispositif est-il susceptible de produire des fausses alarmes? Si oui, …	*80*		80,0		
	Non	100	x	100,0		
11.1.1	Quelle est la fréquence appréhendée des fausses alarmes produites par le dispositif?	50		50,0		
	Nulle	100	x	100,0		
	Faible	75				
	Moyenne	50				
	Élevée	25				
	Très élevée					

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
11.1.2	Quel est le niveau de contrariété (agacement, irritation) des fausses alarmes produit par le dispositif?	50		**50,0**		
	Nul	100	x	100,0		
	Faible	75				
	Moyen	50				
	Élevé	25				
	Très élevé					
11.2	Le fonctionnement du dispositif est-il susceptible de produire un bruit involontaire? Si oui, …	*20*		20,0		
	Non	100	x	100,0		
11.2.1	Quel est le niveau sonore du bruit involontaire?	50		50,0		
	Nul	100	x	100,0		
	Faible	75				
	Moyen	50				
	Élevé	25				
	Très élevé					
11.2.2	Quel est le niveau de contrariété (agacement, irritation) du bruit involontaire?	50		50,0		
	Nul	100	x	100,0		
	Faible	75				
	Moyen	50				
	Élevé	25				
	Très élevé					
C	**ÉCONOMIE ET AUTRES FACTEURS**	**100**		**73,0**	**77,4**	**10 %**
12	**Quel est le coût du dispositif?**	35		28,0		
12.1	Coût d'acquisition en dollars?	*20*		20,0		
	0-500	100	x	100		
	501-1 000	75				
	1 001-2 000	50				
	> 2 001	25				
12.2	Coût d'entretien?	*20*				
	Aucun	100				
12.3	Coût d'installation?	*20*		20,0		
	1 heure par autobus	100	x	100,0		
	2 heures par autobus	75				
	3 heures par autobus	50				
	4 heures et plus	25				

		Poin-tage %	X	Note %	Note cumulative %	Pointage global %
12.4	Coût d'opération (ralentissement des activités de transport scolaire)?	*20*		20,0		
	Aucun	100	x	100,0		
12.5	Coût de formation?	*20*		20,0		
	1 heure par groupe de 10 et plus	100	x	100,0		
	2 heures par groupe de 10 et plus	75				
	3 heures par groupe de 10 et plus	50				
	4 heures et plus par groupe de 10 et plus	25				
13	**Cycle de fiabilité des composantes du système?**	35		35,0		
	Le cycle de fiabilité des composantes du système est connu	100	x	100,0		
	Le cycle de fiabilité des composantes du système n'est pas connu					
14	**Est-ce que le système est garanti?**	20				
	À vie sur le véhicule original	100				
	10 ans	75				
	5 ans	50				
	1 an	25				
	Aucune garantie		x			
15	**Autre facteur :**	10		10,0		
	Est-ce que le dispositif opère sans faire de bruit excessif à l'extérieur?	10		10,0		
	Oui	100	x	100,0		
	Non					
	Résultat final					

Le résultat final était de 77,39 %.